
NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06640606 1

OHC

Fauvelle

BIBLIOTHÈQUE

DES

SCIENCES CONTEMPORAINES

XVI

PARIS. — TYPOGRAPHIE A. HENNUYER, RUE DARCET, 7.

BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES CONTEMPORAINES



LA PHYSICO-CHIMIE

SON RÔLE

DANS LES PHÉNOMÈNES NATURELS

ASTRONOMIQUES, GÉOLOGIQUES ET BIOLOGIQUES

PAR

LE DOCTEUR FAUVELLE

PRÉCÉDÉE D'UNE

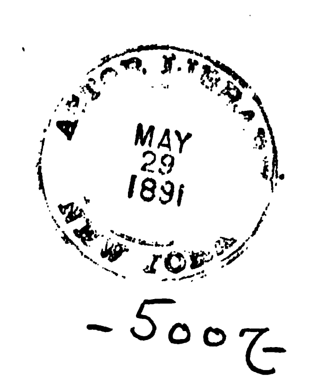
LETTRE DE L'AUTEUR A M. BERTHELOT

Sénateur, membre de l'Institut,
Professeur de chimie organique au Collège de France,

SUR L'UNITÉ DE LA SCIENCE.

PARIS
C. REINWALD, LIBRAIRE-ÉDITEUR
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

1889


MAY
29
1891
-5007-

PRÉFACE

En quittant les bancs du collège, en 1848, les quelques données scientifiques que j'y avais reçues n'avaient laissé dans mon esprit que des idées vagues sur l'Univers, gouverné par des lois immuables, et sur les êtres organisés, animés par un principe spécial auquel on donnait le nom de vie, et qui les distinguait des minéraux soumis uniquement aux forces physico-chimiques.

Durant mes études médicales je ne recueillis aucun éclaircissement sur le gouvernement de l'Univers; il me fut seulement démontré que la vie n'était pas un principe, mais le résultat du concours de phénomènes particuliers auxquels il était convenable de conserver la qualification de vitaux. Quelle était la véritable nature de ces phénomènes? Je n'avais ni le temps ni le pouvoir de le rechercher, et je passai outre.

Après vingt-trois ans de pratique médicale je fus assez heureux pour me procurer des loisirs, à un âge où l'activité intellectuelle est encore dans toute sa force. Je résolus de les employer à me mettre au courant de la Science pour m'éclairer sur la marche générale du monde, et voir si, à l'aide des nombreuses découvertes modernes, il ne serait pas

possible de qualifier autrement que par l'adjectif vital, les phénomènes présentés par les êtres organisés.

L'entreprise était considérable; il me fallait acquérir des idées précises sur l'ensemble des connaissances humaines, depuis la Physique jusqu'à l'Anthropologie, en passant par la Chimie atomique, la Cosmogonie, la Géologie, la Paléontologie, la Zoologie, la Botanique, absolument transformée depuis trente ans, l'Histologie, pour ainsi dire inconnue dans ma jeunesse, et l'Embryologie dont, à la Faculté de médecine, on nous avait distribué à peine quelques bribes informes.

Pour accomplir une pareille tâche, je dus suivre les principaux cours des grands établissements d'enseignement supérieur, pénétrer dans les laboratoires pour m'initier à la technique de toutes ces sciences, et voir de près leurs méthodes et les résultats qu'elles produisent. Je puisai dans les ouvrages français et dans ceux de l'étranger que des traductions mettaient à ma portée. Enfin je fouillai avec persévérance les recueils scientifiques les plus importants, où beaucoup de découvertes restent souvent enfouies pendant de longues années avant d'être admises à l'honneur des traités *ex professo*.

Au fur et à mesure que j'avançais dans ce travail, qui ne demanda pas moins de dix années, je voyais la lumière dissiper les ténèbres, et le résultat définitif me dessilla complètement les yeux.

Mais tout travail intellectuel, pour devenir effectif

et précis, a besoin d'être formulé par écrit ; c'est ce qui m'a engagé à composer cet ouvrage. Je le livre à la publicité dans l'espoir qu'il sera utile à ceux qui, comme moi, sont sortis de l'enseignement secondaire et même de l'enseignement supérieur, sans se faire une idée exacte de ce que Lucrèce appelait la *Nature des choses*.

Je suis heureux de pouvoir le dater du centenaire de la Révolution française qui, en émancipant l'esprit des nations européennes, a rendu possibles les progrès immenses accomplis pendant le dix-neuvième siècle, que l'on peut à juste titre appeler le *Siècle de la Science*.

La Science en 1889 eût été le titre le mieux approprié à la nature de ce livre, puisqu'il résume l'état actuel des connaissances humaines ; mais il n'était pas conforme au programme de la *Bibliothèque des sciences contemporaines*, à laquelle l'ouvrage était destiné. Celui de *Science physico-chimique* lui convenait également, puisqu'en réalité c'est en elle que se résument toutes les autres ; seulement, sous une dénomination aussi générale, il entraînait l'exposé des applications industrielles dont je ne me suis pas occupé. Je me suis arrêté à : *la Physico-chimie, son rôle dans les phénomènes naturels*, titre plus en rapport avec le contenu du volume.

On y trouvera plusieurs vues théoriques qui me sont personnelles, et qui m'ont été inspirées par des considérations d'ensemble, résultant de l'étendue du cadre dans lequel je me mouvais. Chaquefois *qu'elles en* valaient la peine, j'ai montré qu'elles

découlaient naturellement de l'observation et de l'expérimentation.

Voici le plan que j'ai suivi.

L'introduction contient, en résumé, le but et la nécessité de la Science ou savoir humain, l'histoire de son développement jusqu'en 1789, et les moyens dont elle dispose actuellement.

Dans la première partie, j'ai exposé les phénomènes physico-chimiques, considérés en eux-mêmes en dehors de toute application spontanée et industrielle. La seconde, la plus étendue et la plus importante à mon point de vue, développe leur rôle dans la Cosmogonie, la Géologie et la Biologie. Elle fait voir que le monde sidéral, la Terre et les êtres organisés, dans leur passé comme dans leur état actuel, sont le résultat de la succession et de l'enchaînement naturels et nécessaires de ces phénomènes, sans but précis ni plan primitivement conçu, et qu'en réalité l'Univers, tel que nous l'observons, est l'œuvre inconsciente de l'activité de la matière.

D[r] FAUVELLE.

P. S. Comme complément de cette préface, je crois devoir reproduire ici la lettre suivante, que j'adressai, il y a bientôt trois ans, à M. Berthelot, *Sur l'unité de la Science.* Le lecteur y trouvera en germe l'ouvrage que j'offre aujourd'hui au public. Les bases fondamentales en étaient déjà établies; seulement, depuis cette époque, de nouvelles études *m'ont permis* de préciser avec plus de netteté la

nature des forces qui animent la matière et qui en sont les propriétés exclusives.

Cette lettre a été publiée dans *l'Homme*, journal illustré des Sciences anthropologiques (directeur, G. de Mortillet, Octave Doin, éditeur, t. III, 10 juin 1886, p. 335).

LETTRE A M. BERTHELOT

Professeur de chimie organique au Collège de France.

SUR L'UNITÉ DE LA SCIENCE.

Juin 1886.

C'est toujours avec une grande satisfaction que le public reçoit communication de la pensée d'hommes qui, comme vous, monsieur, tiennent une place si importante dans le monde scientifique contemporain. Il est heureux de pouvoir apprécier plus facilement la somme de progrès que leurs travaux ont produits; mais il pense aussi qu'en exposant ainsi leur doctrine au grand jour, ils sollicitent la critique, sans laquelle les intelligences les plus éclairées ne peuvent être sûres de se maintenir dans le chemin de la vérité. C'est pour répondre à ce désir, implicitement contenu dans votre dernière publication, *Science et Philosophie* (1), que je me permets de vous adresser, par la voie de la presse, les réflexions qu'elle m'a suggérées. Elles ne portent pas sur les principes, puisque nous sommes tous deux partisans de la *libre pensée*.

(1) *Science et Philosophie*, par M. Berthelot, sénateur, membre *de l'Institut*. Chez M. Calman-Lévy, éditeur, rue Auber, 3, 1886.

Lorsque vous entreprîtes vos travaux, la Chimie minérale était arrivée à un degré de perfection qui donnait une satisfaction à peu près complète à l'esprit humain ; mais la Chimie organique avait paru jusque-là hérissée de difficultés insurmontables ; on croyait même que l'analyse seule était applicable aux substances qui font l'objet de son étude. Aussi, lorsque d'illustres savants parvinrent à les classer d'une manière méthodique, on crut qu'elle était parvenue à son apogée ; car prétendre reconstituer de toutes pièces les principes immédiats des êtres organisés était alors regardé par les uns comme une utopie irréalisable, et par les autres comme une idée sacrilège, qui ne pouvait naître que dans le cerveau d'un impie.

Votre esprit, libre de tout préjugé, ne s'arrêta pas à toutes ces fins de non-recevoir. Par de longues années d'études et d'expériences vous êtes arrivé à découvrir les méthodes par lesquelles il vous a été possible de réaliser la formation des substances organiques les plus complexes, sans le secours de forces spéciales à la nature vivante. Vous avez porté par là un dernier coup au principe vital, cette âme de second rang, introduit dans la Science par l'École de Montpellier. Je dirai plus, vous avez relégué, parmi les rêves de l'ignorance et de la superstition, ce principe supérieur, auquel les philosophes chrétiens attribuent le pouvoir de construire la maison qu'il doit habiter.

Fier d'un succès presque inespéré, vous constatez, avec un légitime orgueil, que vous avez complété cette partie de la science à laquelle vous vous êtes consacré.

Mais je crois que vous allez trop loin en proclamant la Chimie comme la seule science positive, et en infligeant l'épithète d'idéales à toutes les autres branches des con-

naissances humaines, et spécialement aux sciences naturelles.

Cette distinction serait-elle fondée, et j'espère démontrer tout à l'heure qu'elle ne l'est pas, elle n'aurait qu'un caractère purement subjectif.

Permettez-moi d'envisager la question d'un point de vue plus élevé, et de considérer la Science non par rapport à l'homme, mais par rapport à son objet.

Elle a pour but l'étude du monde sidéral et spécialement du système solaire, et cela dans tous les détails accessibles à nos sens. Elle comprend donc d'abord l'Astronomie et la Cosmographie, puis l'étude de la Terre, c'est-à-dire la Géologie qui a trait à sa structure et à son histoire, la Géographie ou son état actuel, et la Météorologie, c'est-à-dire son mode de vivre. Comme annexes de la Géologie et de la Géographie viennent d'une part la Paléontologie et de l'autre la connaissance des êtres organisés qui vivent actuellement sur notre globe. Cette dernière branche de la Science comprend la description anatomique et histologique de ces êtres et leur manière de vivre ou Physiologie. Enfin, pour ce qui concerne l'Homme en particulier, à sa physiologie se rattache l'étude de ses mœurs dans le passé et dans le présent, c'est-à-dire l'Histoire. Pour la commodité du langage, nous appelons Botanique la connaissance complète des plantes, Zoologie celle des animaux, et enfin Anthropologie celle de l'homme.

Vous le voyez, j'exclue les Mathématiques, et sur ce point nous sommes complètement d'accord : ce sont des méthodes de recherche pour faciliter l'observation et l'expérimentation, et rien de plus. — Mais, direz-vous, que faites-vous de la Physique et de la Chimie ? — Elles sont implicitement comprises dans l'énumération qui *précède. D'abord* elles sont inséparables : pas

de phénomènes physiques sans actions chimiques, pas de combinaisons et de décombinaisons chimiques sans phénomènes physiques ; enfin, pour tout dire, elles embrassent la matière et la force, c'est-à-dire l'Univers entier.

Puisque vous vous êtes surtout préoccupé de l'analyse et de la synthèse, considérez l'univers sidéral et spécialement le système solaire. Vous verrez que tout ce qui s'y passe est un combat entre ces deux manifestations de la matière et de la force, et que c'est la synthèse qui doit définitivement l'emporter dans cette lutte.

La nébuleuse, où la matière se trouve probablement unifiée comme aussi l'énergie qui en est inséparable (on prétend, je ne sais sur quelles données, que cette unification doit avoir lieu forcément à — 275 degrés), la nébuleuse, dis-je, nous montre l'analyse poussée à son extrême limite. Le satellite de la Terre se présente au contraire à nos yeux dans un état de synthèse voisin de l'absolu, puisque jusqu'ici on n'a pu constater à sa périphérie aucune trace certaine de gaz ou de vapeur, et que les accidents de sa surface ne paraissent subir aucune modification. Je ne cite que pour mémoire la lueur observée dernièrement au niveau d'Aristarque, puisqu'on ignore encore en quel point précis de l'espace ce phénomène a eu lieu.

Entre ces deux extrêmes, vous trouverez d'abord le Soleil, arrivé à un point de concentration qu'il était loin d'atteindre dans des temps géologiques encore peu éloignés de nous. L'analyse spectrale y fait reconnaître la plupart des corps simples que nous trouvons sur la Terre, sans qu'ils paraissent engagés dans aucune combinaison. Mais, croyez-le bien, la lumière et la chaleur, qui s'en dégagent en quantité si formidable,

indiquent que, dans ces gigantesques mouvements de concentration et d'expansion, il y a des tentatives de synthèse, encore loin de se réaliser d'une manière définitive, il faut du moins l'espérer pour notre existence. En effet, le jour où la synthèse aura solidifié la surface du Soleil, elle aura immobilisé tous les éléments des corps qu'il entraîne avec lui, et le retour à la nébuleuse primitive sera peut-être proche.

Viennent ensuite les planètes, où la synthèse l'a emporté depuis longtemps, puisque toutes ont franchi la période stellaire. Mais reportons nos regards sur la Terre, de beaucoup la mieux connue. La Géologie nous montre quelle masse d'éléments sont entrés successivement dans des combinaisons désormais fixes. S'il en reste encore à l'état instable, ils le doivent principalement aux êtres vivants dans lesquels le combat est aujourd'hui concentré. Un coup d'œil jeté sur les phénomènes vitaux va nous permettre d'assister à cette lutte.

Prenons d'abord le végétal. Vous voyez la chlorophylle se former synthétiquement sous l'influence de radiations d'une intensité donnée. Puis ce corps, aidé des mêmes radiations, décompose l'acide carbonique ; le carbone naissant s'unit alors à l'eau pour former d'une part les hydrates de carbone et de l'autre les albuminoïdes avec l'addition des nitrates. Ces substances se groupent ensuite, par affinité, en petites masses dont le volume est limité par la gravitation, et la cellule végétale se trouve constituée. Voilà pour la synthèse, et tout en resterait là sans la présence de l'oxygène qui vient s'efforcer de ramener les combinaisons complexes produites, à l'état d'eau, d'acide carbonique et de nitrates. J'ai négligé quelques autres corps simples engagés dans la synthèse des albuminoïdes et que l'oxygène dégage également en s'en em-

parant. Ainsi la synthèse serait vaincue, si la chlorophylle n'était toujours là pour remplacer les éléments détruits. Mais la décomposition, œuvre de l'oxygène, ne se produit pas sans dégagement de force, et ce sont les manifestations de cette force ou énergie qui constituent les phénomènes vitaux. Quoique bien constatés dans la cellule végétale, ils y sont difficiles à saisir ; on les observe plus facilement chez les animaux supérieurs, où les divers albuminoïdes sont isolés les uns des autres en petites masses cellulaires par un phénomène connu sous le nom de différenciation, et qui n'est autre, sans doute, que le résultat de l'affinité.

Prenons l'Homme pour exemple. L'oxygène, transporté par l'hémoglobine dans les groupes de cellules nerveuses, y décompose certaines substances quaternaires et dégage non pas simplement de la chaleur, mais une autre forme de l'énergie, l'influx nerveux. Celui-ci, mis en action par l'excitation des extrémités périphériques de filets conducteurs centripètes, développe, dans certaines cellules cérébrales, des modifications qui se traduisent par des sensations perçues et retenues. La présence simultanée de plusieurs sensations produit des comparaisons, des raisonnements, des idées, en un mot tout l'ensemble des phénomènes intellectuels. Puis le courant nerveux parvient à d'autres cellules dites motrices et volitives qui ont le pouvoir de l'arrêter ou de le diriger en proportions voulues, à l'aide de conducteurs centrifuges, sur les éléments musculaires que l'oxygène a pénétrés également. L'influx nerveux y favorise alors la combustion des hydrates de carbone et la chaleur dégagée se transforme en mouvement. C'est par le même mécanisme qu'il produit l'électricité dans l'appareil du *mnote et* de la Torpille, et enfin la lumière chez cer-

ains poissons phosphorescents des grandes profon-eurs. La *Mémoire* et la *Volonté*, c'est-à-dire l'intelli-gence, ne sont donc que les manifestations d'une forme de l'Énergie, dégagée par l'action de l'oxygène.

Dans la moelle épinière et les ganglions splanchniques, la force ne paraît pas influencer les cellules nerveuses ; le courant produit par les excitations périphériques parvient sans arrêt aux muscles et aux glandes, pour produire chez les uns des mouvements et chez les autres des modifications spéciales des principes immédiats. Il n'y a ni sensation ni volition.

Si l'action comburante, ou mieux analytique, de l'oxygène n'est pas compensée par l'apport continuel d'éléments synthétisés par la chlorophylle, il y a épuisement, et la mort survient par l'analyse; si, au contraire, l'oxygène vient à manquer, il n'y a plus de dégagement de force, et c'est par la synthèse que l'individu succombe. Ce qui est vrai pour le *microcosme* l'est également pour le *macrocosme;* c'est donc avec raison que la Lune est considérée par certains comme un astre mort.

Vous le voyez, monsieur, dans le monde entier qui fait l'objet de la Science, tous les phénomènes ne sont qu'une suite d'analyses et de synthèses des éléments chimiques, ainsi que de dégagements ou de concentrations de la force. Si donc vous vous décidez à composer votre *De naturâ rerum*, vous n'aurez pas à changer la direction de vos études. Vous serez dans les meilleures conditions pour vous approcher de la vérité, et, généralisant votre théorie de la chaleur, vous pourrez peut-être arriver à découvrir « l'unité de la loi universelle des mouvements et des forces naturelles ». C'est une œuvre digne de votre génie.

Mais revenons à votre distinction subjective entre la science *positive et la science* idéale. Je constate d'abord,

non sans satisfaction, que la première n'a rien de commun avec ce positivisme étroit, dont vous dites « qu'il rejette parmi les stériles discussions de la scolastique tous les grands problèmes, parce que leur solution ne comporte ni clarté, ni certitude ». Comme vous le dites ailleurs, « s'il peut passer à juste titre pour téméraire d'affirmer que l'homme arrivera à la connaissance complète de la vérité, la négation l'est peut-être encore davantage, car elle est exposée à être renversée demain par quelque découverte inattendue ».

Le premier argument sur lequel vous basez cette division des connaissances humaines est celui-ci : dans les sciences naturelles, par exemple, l'expérimentation ne pourra jamais venir nous donner la certitude. D'abord ce n'est pas complètement exact ; ensuite je pense que vous donnez une prépondérance trop grande à l'expérimentation sur l'observation.

Après avoir stigmatisé, comme elle le mérite, la méthode syllogistique ou des déductions, dont se sont servis exclusivement les philosophes de l'antiquité, vous nous annoncez que vous avez suivi celle de François Bacon, qui, suivant sa propre expression, immobile comme une statue, nous indique du geste, depuis deux cent cinquante ans, le chemin de la vérité. C'est la méthode des inductions tirées de l'observation contrôlée, s'il y a lieu, par l'expérimentation. De ces deux termes, le premier est sans contredit le plus important. Sans lui, l'expérimentation ne marche qu'au hasard. Je n'en veux pour preuve que l'impuissance dans laquelle se débattent les expérimentateurs qui, comme M. Brown-Sequard, taillent avec acharnement dans les centres nerveux pour en surprendre le mécanisme, sans qu'une observation sérieuse de leurs fonctions ait au préalable dirigé leurs recherches.

En Chimie, il est vrai, l'observation a un rôle pour ainsi dire nul, car, sans l'analyse qui la remplace, toute expérience de synthèse eût été impossible. Mais dans les sciences naturelles, où la force, mise en jeu par les actions chimiques, se manifeste continuellement sous forme de phénomènes accessibles à nos sens, elle reprend son importance légitime.

Ainsi, en Géologie, nous observons d'une manière précise la synthèse immobilisant successivement les divers éléments de la matière, en même temps que les forces mécaniques en modifient la forme et la structure, et l'expérimentation est venue confirmer ces constatations. Les combinaisons ont été reproduites par la synthèse minérale, et, à l'aide de la presse hydraulique, on est parvenu à transformer l'argile ordinaire en phyllades, tout à fait semblables aux ardoises que l'on rencontre dans les diverses couches de l'écorce solide du globe.

D'autre part, la Paléontologie nous montre les êtres organisés se développant graduellement, dans la suite des temps géologiques, depuis les plus simples jusqu'aux plus complexes. Ces observations, que l'expérimentation, il est vrai, ne pourra jamais reproduire, jointes à celles de l'influence des milieux et de la sélection naturelle, ont servi de base à la doctrine du Transformisme, hypothèse grandiose qui, tous les jours, se confond de plus en plus avec la vérité.

Je m'engage ici sur un terrain bien dangereux. Cette vaste conception, due au génie de Lamarck et qui sera une des grandes gloires de la France, a rencontré une opposition formidable dans le monde scientifique officiel qui forme malheureusement chez nous la grande majorité des savants. Il faut que leur influence soit bien grande pour que, malgré votre ardent patriotisme,

cette doctrine, complétée, il est vrai, par Darwin, n'ait pas même été nommée dans l'ouvrage dont je m'occupe ici. Sans doute vous vous êtes cru tenu à des égards pour vos collègues de l'Institut. Du reste n'avons-nous pas vu Claude Bernard, au pied de la statue duquel est gravé sur le bronze *Unité de la vie*, soutenir, dans son discours de réception à l'Académie française, que l'intelligence des animaux n'a rien de commun avec celle de l'homme et n'est qu'une espèce d'instinct automatique ? Que doit-il être des débutants ambitieux, si les grands maîtres n'ont pu conquérir leur liberté en même temps que leur gloire !

Quoi qu'il en soit, le Transformisme a été confirmé par l'expérimentation. La sélection et les modifications du milieu, produites artificiellement, ont donné les résultats les plus probants. De plus, en suivant le développement de l'individu animal, on a constaté qu'il est obligé, pour arriver à l'état adulte, de passer par une foule de transformations parallèles à celles que sa race a traversées dans la série des âges.

Il reste cependant une lacune, et c'est à la synthèse des matières organiques qu'il appartient de la combler. Le Transformisme, confirmant les observations géologiques, a renversé l'hypothèse des cataclysmes et des créations successives ; mais, pour quelques-uns de ses partisans, il n'a fait que reculer l'intervention de la puissance créatrice, à laquelle ils attribuent la formation de la monère primitive. On admet en effet généralement que l'être qui a été la souche première du règne animal, était une cellule vivante analogue aux amibes, comme la cellule œuf arrive, de transformations en transformations, à former l'animal adulte. Mais la vie n'a pu débuter par elle, puisque, comme l'œuf, elle *se nourrit exclusivement* de principes organiques im-

médiats et ne peut les produire. La première cellule vivante a été certainement une cellule végétale verte, et elle-même a été précédée par la chlorophylle qui, seule, dans la nature, est l'agent actif de la synthèse organique.

Le problème de la création se réduit donc aujourd'hui à la production de la chlorophylle. Grâce à la méthode si féconde dont vous êtes le fondateur, sa solution est certaine, et, si vous voulez diriger vos efforts de ce côté, il vous sera facile de le résoudre. Comme couronnement de votre œuvre scientifique vous aurez rendu inutile cette fiction d'un être supérieur omnipotent et omniscient, que les philosophes de l'antiquité ont cru devoir inventer pour satisfaire leur désir d'expliquer la nature des choses.

Un autre caractère de la science idéale consiste, suivant vous, « en ce qu'elle n'est pas entièrement formée par une trame continue de faits enchaînés à l'aide de relations certaines et démontrables. Les notions générales auxquelles arrive chaque science particulière, sont disjointes et séparées les unes des autres dans une même science et surtout d'une science à l'autre. Pour les réunir et en former un tissu, il faut recourir aux tâtonnements, à l'imagination, combler les vides, prolonger les lignes. »

D'abord je crois avoir démontré, dans la première partie de cette lettre, que la trame de la science ou des sciences est précisément formée par la physique et la chimie qui, suivant vous, constituent seules la science positive. Ensuite, même dans ces branches importantes des connaissances humaines, il reste des vides, « des lacunes » qu'il faut combler non par l'imagination, mais en prolongeant les lignes, c'est-à-dire par des *inductions tirées de l'*observation et de l'expéri-

cette doctrine, complétée, il est vrai, par Darwin, n'ait pas même été nommée dans l'ouvrage dont je m'occupe ici. Sans doute vous vous êtes cru tenu à des égards pour vos collègues de l'Institut. Du reste n'avons-nous pas vu Claude Bernard, au pied de la statue duquel est gravé sur le bronze *Unité de la vie*, soutenir, dans son discours de réception à l'Académie française, que l'intelligence des animaux n'a rien de commun avec celle de l'homme et n'est qu'une espèce d'instinct automatique ? Que doit-il être des débutants ambitieux, si les grands maîtres n'ont pu conquérir leur liberté en même temps que leur gloire !

Quoi qu'il en soit, le Transformisme a été confirmé par l'expérimentation. La sélection et les modifications du milieu, produites artificiellement, ont donné les résultats les plus probants. De plus, en suivant le développement de l'individu animal, on a constaté qu'il est obligé, pour arriver à l'état adulte, de passer par une foule de transformations parallèles à celles que sa race a traversées dans la série des âges.

Il reste cependant une lacune, et c'est à la synthèse des matières organiques qu'il appartient de la combler. Le Transformisme, confirmant les observations géologiques, a renversé l'hypothèse des cataclysmes et des créations successives ; mais, pour quelques-uns de ses partisans, il n'a fait que reculer l'intervention de la puissance créatrice, à laquelle ils attribuent la formation de la monère primitive. On admet en effet généralement que l'être qui a été la souche première du règne animal, était une cellule vivante analogue aux amibes, comme la cellule œuf arrive, de transformations en transformations, à former l'animal adulte. Mais la vie n'a pu débuter par elle, puisque, comme l'œuf, elle *se nourrit exclusivement* de principes organiques im-

médiats et ne peut les produire. La première cellule vivante a été certainement une cellule végétale verte, et elle-même a été précédée par la chlorophylle qui, seule, dans la nature, est l'agent actif de la synthèse organique.

Le problème de la création se réduit donc aujourd'hui à la production de la chlorophylle. Grâce à la méthode si féconde dont vous êtes le fondateur, sa solution est certaine, et, si vous voulez diriger vos efforts de ce côté, il vous sera facile de le résoudre. Comme couronnement de votre œuvre scientifique vous aurez rendu inutile cette fiction d'un être supérieur omnipotent et omniscient, que les philosophes de l'antiquité ont cru devoir inventer pour satisfaire leur désir d'expliquer la nature des choses.

Un autre caractère de la science idéale consiste, suivant vous, « en ce qu'elle n'est pas entièrement formée par une trame continue de faits enchaînés à l'aide de relations certaines et démontrables. Les notions générales auxquelles arrive chaque science particulière, sont disjointes et séparées les unes des autres dans une même science et surtout d'une science à l'autre. Pour les réunir et en former un tissu, il faut recourir aux tâtonnements, à l'imagination, combler les vides, prolonger les lignes. »

D'abord je crois avoir démontré, dans la première partie de cette lettre, que la trame de la science ou des sciences est précisément formée par la physique et la chimie qui, suivant vous, constituent seules la science positive. Ensuite, même dans ces branches importantes des connaissances humaines, il reste des vides, « des lacunes » qu'il faut combler non par l'imagination, mais en prolongeant les lignes, c'est-à-dire par des *inductions tirées* de l'observation et de l'expéri-

tronomiques, du reste j'ai indiqué en temps utile la part qui, dans leur interprétation, appartient à Laplace et à M. Faye.

En Géologie j'ai mis surtout à contribution le cours de M. de Lapparent à l'Institut catholique, et son Traité publié en 1883, chez Savy. C'est en effet le seul des géologues contemporains qui ait accordé une sérieuse importance à la *physiologie* passée et présente de notre globe, et ne se soit pas cantonné exclusivement dans des constatations que j'appellerai anatomiques.

J'ai étudié tout naturellement la théorie générale du Transformisme dans les ouvrages de Lamarck, Darwin et Hæckel ; mais je dois avouer que je n'ai été bien convaincu de la vérité de cette doctrine, qu'en suivant, pendant sept ou huit ans, les cours et conférences de M. Albert Gaudry, professeur de Paléontologie au Muséum de Paris. Là, en étudiant la série chronologique des êtres fossiles, j'ai pu suivre leurs transformations graduelles et constater qu'il faut des milliers d'années, et quelquefois de siècles, pour produire une forme réellement nouvelle. Espérons que ce savant, dont l'accueil bienveillant m'a tant encouragé, ne s'en tiendra pas aux deux premiers volumes des *Enchaînements du Monde animal* (1), et qu'il achèvera cette œuvre importante. Cette longue étude a été complétée par celle des travaux des anthropologistes préhistoriciens et spécialement de ceux de M. Gabriel de Mortillet (2).

L'évolution des végétaux ou du moins leurs enchaînements ont été empruntés à M. Van Tieghem, professeur au Muséum, dont j'ai non seulement consulté

(1) Savy, 1878 et 1883.

(2) *Le Préhistorique* (Bibliothèque des sciences contemporaines), *chez C. Reinwald.*

médiats et ne peut les produire. La première cellule vivante a été certainement une cellule végétale verte, et elle-même a été précédée par la chlorophylle qui, seule, dans la nature, est l'agent actif de la synthèse organique.

Le problème de la création se réduit donc aujourd'hui à la production de la chlorophylle. Grâce à la méthode si féconde dont vous êtes le fondateur, sa solution est certaine, et, si vous voulez diriger vos efforts de ce côté, il vous sera facile de le résoudre. Comme couronnement de votre œuvre scientifique vous aurez rendu inutile cette fiction d'un être supérieur omnipotent et omniscient, que les philosophes de l'antiquité ont cru devoir inventer pour satisfaire leur désir d'expliquer la nature des choses.

Un autre caractère de la science idéale consiste, suivant vous, « en ce qu'elle n'est pas entièrement formée par une trame continue de faits enchaînés à l'aide de relations certaines et démontrables. Les notions générales auxquelles arrive chaque science particulière, sont disjointes et séparées les unes des autres dans une même science et surtout d'une science à l'autre. Pour les réunir et en former un tissu, il faut recourir aux tâtonnements, à l'imagination, combler les vides, prolonger les lignes. »

D'abord je crois avoir démontré, dans la première partie de cette lettre, que la trame de la science ou des sciences est précisément formée par la physique et la chimie qui, suivant vous, constituent seules la science positive. Ensuite, même dans ces branches importantes des connaissances humaines, il reste des vides, « des lacunes » qu'il faut combler non par l'imagination, mais en prolongeant les lignes, c'est-à-dire par des *inductions tirées* de l'observation et de l'expéri-

l'École d'anthropologie de Paris, ainsi qu'aux monographies où il expose ses recherches personnelles, que j'ai pu montrer en toute évidence que l'*Ontogénie* des êtres organisés est le résumé fidèle de leur *Phylogénie*. Par son amitié et son exemple il m'a positivement entraîné; sans son impulsion je n'aurais pas conçu et mené à bien l'ouvrage que j'offre aujourd'hui au public. Je saisis cette occasion pour lui en témoigner hautement ma reconnaissance.

Certainement plusieurs des savants que je viens d'énumérer ne tirent pas de leurs recherches les mêmes conclusions que moi ; mais, en mettant à part les préjugés de l'éducation, je crois pouvoir l'attribuer à ce que, confinés dans une partie plus ou moins étendue de la Science, ils n'ont pas eu le temps d'en considérer l'ensemble.

---

médiats et ne peut les produire. La première cellule vivante a été certainement une cellule végétale verte, et elle-même a été précédée par la chlorophylle qui, seule, dans la nature, est l'agent actif de la synthèse organique.

Le problème de la création se réduit donc aujourd'hui à la production de la chlorophylle. Grâce à la méthode si féconde dont vous êtes le fondateur, sa solution est certaine, et, si vous voulez diriger vos efforts de ce côté, il vous sera facile de le résoudre. Comme couronnement de votre œuvre scientifique vous aurez rendu inutile cette fiction d'un être supérieur omnipotent et omniscient, que les philosophes de l'antiquité ont cru devoir inventer pour satisfaire leur désir d'expliquer la nature des choses.

Un autre caractère de la science idéale consiste, suivant vous, « en ce qu'elle n'est pas entièrement formée par une trame continue de faits enchaînés à l'aide de relations certaines et démontrables. Les notions générales auxquelles arrive chaque science particulière, sont disjointes et séparées les unes des autres dans une même science et surtout d'une science à l'autre. Pour les réunir et en former un tissu, il faut recourir aux tâtonnements, à l'imagination, combler les vides, prolonger les lignes. »

D'abord je crois avoir démontré, dans la première partie de cette lettre, que la trame de la science ou des sciences est précisément formée par la physique et la chimie qui, suivant vous, constituent seules la science positive. Ensuite, même dans ces branches importantes des connaissances humaines, il reste des vides, « des lacunes » qu'il faut combler non par l'imagination, mais en prolongeant les lignes, c'est-à-dire par des *inductions tirées* de l'observation et de l'expéri-

cette doctrine, complétée, il est vrai, par Darwin, n'ait pas même été nommée dans l'ouvrage dont je m'occupe ici. Sans doute vous vous êtes cru tenu à des égards pour vos collègues de l'Institut. Du reste n'avons-nous pas vu Claude Bernard, au pied de la statue duquel est gravé sur le bronze *Unité de la vie*, soutenir, dans son discours de réception à l'Académie française, que l'intelligence des animaux n'a rien de commun avec celle de l'homme et n'est qu'une espèce d'instinct automatique ? Que doit-il être des débutants ambitieux, si les grands maîtres n'ont pu conquérir leur liberté en même temps que leur gloire !

Quoi qu'il en soit, le Transformisme a été confirmé par l'expérimentation. La sélection et les modifications du milieu, produites artificiellement, ont donné les résultats les plus probants. De plus, en suivant le développement de l'individu animal, on a constaté qu'il est obligé, pour arriver à l'état adulte, de passer par une foule de transformations parallèles à celles que sa race a traversées dans la série des âges.

Il reste cependant une lacune, et c'est à la synthèse des matières organiques qu'il appartient de la combler. Le Transformisme, confirmant les observations géologiques, a renversé l'hypothèse des cataclysmes et des créations successives ; mais, pour quelques-uns de ses partisans, il n'a fait que reculer l'intervention de la puissance créatrice, à laquelle ils attribuent la formation de la monère primitive. On admet en effet généralement que l'être qui a été la souche première du règne animal, était une cellule vivante analogue aux amibes, comme la cellule œuf arrive, de transformations en transformations, à former l'animal adulte. Mais la vie n'a pu débuter par elle, puisque, comme l'œuf, elle *se nourrit exclusivement* de principes organiques im-

médiats et ne peut les produire. La première cellule vivante a été certainement une cellule végétale verte, et elle-même a été précédée par la chlorophylle qui, seule, dans la nature, est l'agent actif de la synthèse organique.

Le problème de la création se réduit donc aujourd'hui à la production de la chlorophylle. Grâce à la méthode si féconde dont vous êtes le fondateur, sa solution est certaine, et, si vous voulez diriger vos efforts de ce côté, il vous sera facile de le résoudre. Comme couronnement de votre œuvre scientifique vous aurez rendu inutile cette fiction d'un être supérieur omnipotent et omniscient, que les philosophes de l'antiquité ont cru devoir inventer pour satisfaire leur désir d'expliquer la nature des choses.

Un autre caractère de la science idéale consiste, suivant vous, « en ce qu'elle n'est pas entièrement formée par une trame continue de faits enchaînés à l'aide de relations certaines et démontrables. Les notions générales auxquelles arrive chaque science particulière, sont disjointes et séparées les unes des autres dans une même science et surtout d'une science à l'autre. Pour les réunir et en former un tissu, il faut recourir aux tâtonnements, à l'imagination, combler les vides, prolonger les lignes. »

D'abord je crois avoir démontré, dans la première partie de cette lettre, que la trame de la science ou des sciences est précisément formée par la physique et la chimie qui, suivant vous, constituent seules la science positive. Ensuite, même dans ces branches importantes des connaissances humaines, il reste des vides, « des lacunes » qu'il faut combler non par l'imagination, mais en prolongeant les lignes, c'est-à-dire par des *inductions tirées* de l'observation et de l'expéri-

que nous qualifions de sauvages. Durant cette suite de transformations qui nécessitèrent des centaines de mille ans pour se produire, l'évolution scientifique fut entachée d'erreurs grossières, qui, sous différentes formes, se sont perpétuées par la tradition jusqu'à nos jours, où elles forment encore la base de l'instruction élémentaire.

L'histoire du développement de la science que nous allons esquisser brièvement, nous montrera la vérité et l'erreur sans cesse aux prises, celle-ci cherchant à étouffer la première et y parvenant trop souvent, au grand détriment des sociétés qui sont le théâtre de la lutte.

Mais la notion scientifique, si restreinte qu'elle soit, n'a pas pour but unique la connaissance du milieu, elle doit encore servir à la satisfaction des besoins. Dans le premier cas, c'est la *Science* pure, dans le second, c'est la science appliquée ou *Industrie*. Toutes deux marchent de front et sont exactement proportionnelles entre elles.

Tous les êtres organisés, quel que soit leur développement intellectuel, présentent cette simultanéité des deux sciences. Je dis les êtres organisés en général, car il est démontré que les végétaux eux-mêmes ont une notion quelconque du milieu dans lequel ils vivent et l'appliquent à une sorte d'industrie, comme on le verra, lorsque nous en exposerons les phénomènes biologiques.

Cet ouvrage étant uniquement consacré à la science pure, nous laisserons complètement de côté ses applications industrielles, dont l'exposé nécessiterait, du reste, une véritable encyclopédie.

§ 2. DÉVELOPPEMENT DE LA SCIENCE.

**Superstitions, religions, doctrines philosophiques.
Industrie primitive, origine des sciences,
leur état avant l'ère actuelle. Le christianisme et les barbares.
Tentative de rénovation au douzième siècle;
les mathématiques; la scolastique.
Renaissance : Physico-chimie; Fr. Bacon,
Descartes, Newton, Lavoisier.
Biologie : Harvey.**

Pour se rendre compte des difficultés qu'a rencontrées le développement des connaissances scientifiques dans leur ensemble et, par conséquent, du haut degré d'intelligence nécessaire à l'homme pour les acquérir, il faut considérer la quantité énorme de faits qu'elles embrassent et dont l'appréciation exacte a seule permis d'en saisir les enchaînements. Mais il fut parvenu plus rapidement à ce résultat sans les erreurs nombreuses dans lesquelles il est tombé par suite de la méthode défectueuse qu'il a suivie au début de ses recherches.

Lorsqu'un phénomène se présente comme la conséquence d'un autre phénomène, on regarde celui-ci comme la cause du premier. C'est ce qui a fait dire que la science n'était en réalité que la connaissance des causes. C'est parfaitement exact, si l'on donne à ce mot le sens d'antériorité nécessaire. Ainsi la lumière et la chaleur sont les causes du développement des végétaux parce qu'elles doivent nécessairement le précéder. Mais, dans le langage ordinaire, l'homme attache le plus souvent à l'idée de causalité celle de volonté, parce que ses déterminations personnelles entraînent des conséquences, dont, suivant l'expression habituelle, il est la cause volontaire. C'est cette tendance à regarder toute espèce de faits comme produits par une *volonté quelconque*, qui a été l'origine de toutes les erreurs

dont je viens de parler, et qui ont entravé et entravent encore, d'une manière si fâcheuse, le développement des connaissances scientifiques.

L'histoire de ces erreurs se rattache donc d'une manière intime à celle de la science, et c'est par elle que nous allons commencer. Nous suivrons cette évolution spécialement chez les nations européennes. Mais, comme nous n'avons que des données très incomplètes sur les populations primitives qui leur ont donné naissance, pour ce qui les concerne, nous tirerons nos observations des groupes ethniques qui sont encore aujourd'hui dans l'état d'infériorité par lequel elles ont dû passer à une époque excessivement reculée.

Chez les animaux, la recherche des causes ne s'applique qu'aux faits relatifs à d'autres animaux. C'est à l'aide de cette notion spéciale de causalité qu'il leur est possible d'échapper à leurs ennemis et de poursuivre leur proie. Relativement aux phénomènes naturels qu'ils peuvent apprécier, ils restent indifférents. S'ils sont avantageux, ils en profitent de leur mieux, s'ils leur sont nuisibles, ils cherchent à s'en garantir dans les limites de leurs moyens ; mais leur développement intellectuel ne leur permet pas d'en pénétrer les causes.

Il est incontestable que les groupes humains les plus inférieurs, tels que les Fuégiens, les Botocudos et les Boschimans, bien qu'ayant un pouvoir d'observation plus étendu, montrent autant d'indifférence pour la recherche des causes des phénomènes naturels, que les animaux les plus élevés de l'ordre des mammifères. Le besoin de les connaître ne se manifeste que chez des peuples d'une organisation sociale un peu plus élevée, comme ceux qui occupent le centre de l'Afrique.

Lorsque ceux-ci rencontrent des difficultés matérielles *qui entravent* leurs projets ou leur font subir des dom-

mages plus ou moins sérieux, s'ils n'en saisissent pas immédiatement les causes, sous l'influence de la tendance que je viens de signaler, ils attribuent ces difficultés à des volontés semblables aux leurs, et n'en différant que par un caractère de supériorité qui leur apparaît tel, parce qu'elles échappent à leurs sens et par conséquent à leur action.

Dans l'impossibilité de se faire une idée abstraite de ces volontés anthropomorphes, ils les attribuent à des objets inanimés ou vivants, et même à certains de leurs semblables qui se distinguent par une bizarrerie quelconque; ils en font des fétiches et des féticheurs ou sorciers, sur lesquels ils cherchent à agir pour conjurer les calamités.

Tels furent les premiers dieux et telle est l'origine de toutes les religions qui persistent encore dans les groupes ethniques qui se sont élevés par leur intelligence au-dessus du reste de l'humanité. Nous sommes autorisés à croire que les ancêtres des nations européennes ont passé par cette période d'erreurs par la persistance d'une foule de coutumes bizarres qui s'y rattachent, et spécialement par la croyance aux sorts et aux sorciers, ainsi qu'aux amulettes ou porte-bonheur.

Plus tard, ils abandonnèrent le fétichisme comme une erreur grossière, mais n'en persistèrent pas moins à croire que les faits qu'ils ne pouvaient expliquer, ni diriger par leur volonté propre, étaient des actes émanant d'êtres d'une grande puissance.

Chaque groupe de phénomènes naturels eut alors sa divinité directrice, c'est-à-dire sa cause, et ces puissances anthropomorphes se multiplièrent d'autant plus que la région présentait des manifestations météorologiques ou autres plus nombreuses et plus variées. C'est ainsi que les peuples européens et asiatiques des bords de la Méditerranée en inventèrent de véritables légions, tandis que dans les contrées où, comme en Égypte, ces manifestations sont

très réduites, leur nombre fut beaucoup plus restreint. Certains peuples même, ceux de la Perse par exemple, n'admirent que deux divinités, celle du bien et celle du mal, dont la lutte perpétuelle avait la nature pour théâtre.

Une fois sur la pente glissante du surnaturel on ne peut s'arrêter. Les ancêtres décédés, qui vivaient encore dans le souvenir de leurs descendants avec leur caractère et leur autorité, furent supposés exercer directement ou indirectement une influence sur les affaires des vivants. Alors, comme les dieux dont nous venons de parler, ils furent l'objet d'un culte, dont le but, dans l'un et l'autre cas, était d'obtenir une influence favorable, ou tout au moins d'apaiser une irritation possible. A tous ces êtres imaginaires, que personne n'avait jamais vus d'une manière authentique, on attribuait une forme humaine composée d'une substance beaucoup plus subtile que celle des corps ordinaires. Quant à leurs qualités morales, elles étaient le reflet de celles de leurs adorateurs, et il ne pouvait en être autrement.

Ce qui contribua surtout à donner de l'importance à cette croyance à des puissances occultes et à écarter toute espèce de doute sur leur existence réelle, c'est l'institution de prêtres chargés d'être les intermédiaires entre le vulgaire et la divinité, et dont l'intérêt était naturellement de maintenir et de développer ces grossières superstitions. Ils formèrent de nombreuses et puissantes corporations avec lesquelles les pouvoirs politiques durent compter et auprès desquelles ils cherchèrent souvent un appui. C'est ainsi que les religions devinrent des institutions sociales. De telle sorte que ce qui n'avait été d'abord qu'une conjecture vague et incertaine, est devenu par le concours de circonstances variées, une vérité indiscutable devant laquelle tous devaient s'incliner.

Malgré le développement progressif des intelligences,

ces croyances persistèrent plus ou moins intactes dans l'esprit de la majorité des populations. Il est en effet plus commode d'accepter une explication, même invraisemblable, que de se donner la peine de rechercher la vérité.

Cependant, certains esprits supérieurs, rejetant toutes les superstitions ridicules sur les causes des phénomènes naturels, entreprirent de résoudre le problème d'une manière plus satisfaisante. Mais, toujours suivant la loi du moindre effort, malgré le titre d'« amis de la sagesse » dont ils se paraient, au lieu d'observer minutieusement ces phénomènes dans tous leurs détails et de rechercher leurs connexions, ils se contentèrent d'impressions vagues et générales qu'ils prirent pour des vérités, et dont ils se servirent pour résoudre les problèmes qu'ils se proposaient d'examiner.

D'abord, reconnaissant une certaine solidarité dans l'ensemble des manifestations dont l'univers est le théâtre, ils renoncèrent à ces divinités multiples reconnues et adorées par le vulgaire, et admirent, d'ailleurs sans preuves meilleures, l'existence d'une seule puissance à laquelle l'univers obéissait. Cette idée d'un seul dieu se propageant dans les masses et exploitée de la même manière que celle d'une confédération d'êtres supérieurs, donna naissance aux religions monothéistes qui règnent encore aujourd'hui sur tous les peuples civilisés.

Restait à spécifier le siège de cette intelligence unique, aussi anthropomorphe que ses devancières, et son mode d'action sur la nature en général. Ici les opinions se partagèrent.

Pour les uns, la puissance supérieure était intimement unie à la matière qui n'était qu'une de ses manières d'être. On les a nommés *Syncrétistes* (συν κερᾶν, mélanger avec) ou panthéistes. Cette doctrine, ressuscitée de nos jours sous *le nom de Monisme,* se trouve résumée de la manière

suivante par Spinosa (1632-1677). « Il n'existe qu'une substance plus ou moins subtile. Dieu qui comprend la substance, est absolument indéterminé ; ses attributs sont l'étendue et la pensée inséparables. Toute modification de l'étendue divine est un corps, toute modification de la pensée divine est une âme ; mais ces modifications sont solidaires, si bien que toute modification du corps entraîne une modification de l'âme et réciproquement. Enfin, le monde avec ses phénomènes n'est que l'ensemble des modes ou attributs de la substance divine. »

Le grand argument des syncrétistes est celui-ci : Parcourez les campagnes à cinquante ou soixante ans d'intervalle, vous leur verrez toujours le même aspect, et cependant aucun des êtres, animaux ou végétaux, qui les peuplent, ne sera le même. Telle ville que vous voyez aujourd'hui pleine de vie et d'animation, présentera dans cent ans la même vie et la même animation, et cependant ce ne seront plus les mêmes hommes. Les premiers seront rentrés dans le grand Tout, et leurs successeurs n'en seront sortis que pour y rentrer à leur tour. Pour ces philosophes, le monde est comparable à l'Océan, dont l'aspect change continuellement, et qui, cependant, est toujours le même. Les phénomènes de la nature ne sont autre chose que les vagues de la mer qui ne s'effacent que pour se reproduire sans cesse.

D'autres philosophes, voyant la matière tantôt inerte, tantôt en mouvement, en conclurent que l'Esprit en était parfaitement distinct. Suivant ces *Spiritualistes*, c'est l'intelligence et la volonté divines qui l'animent ; Dieu, dans sa sagesse éternelle, produit tous les phénomènes de la nature. Précisant la croyance aux mânes, aux ombres, ils attribuèrent la vie de l'homme à la présence de l'âme (*atma*, souffle), qui le quitte au moment de la mort et cesse *d'animer* le cadavre. Les uns la regardaient comme une

émanation de Dieu, dans le sein duquel elle rentrait après un séjour plus ou moins prolongé dans son enveloppe matérielle. D'autres prétendaient et prétendent encore qu'elle est une de ses créatures que la mort ne doit jamais atteindre.

Un troisième groupe d'amis de la sagesse, refusant d'admettre l'existence d'êtres, soi-disant supérieurs, qui n'ont jamais été vus ni touchés, voyant néanmoins la matière toujours en mouvement, soit qu'elle soit désagrégée en particules impalpables, soit qu'elle reste groupée en masses plus ou moins denses, plus ou moins volumineuses, attribuèrent toutes les manifestations dont elle est le siège à la puissance de ses particules qu'ils supposèrent insécables (atomes), et qui, par leurs formes et leurs mouvements variés, peuvent s'attacher les unes aux autres de diverses manières et produire ces aspects multiples sous lesquels elle nous apparaît, et tous les phénomènes qui s'y manifestent. Ce sont les philosophes *matérialistes*.

En somme, toutes ces conjectures ne reposaient que sur des considérations générales, sur des appréciations qui variaient suivant les individus, suivant les circonstances où ils se trouvaient placés, suivant leurs dispositions personnelles et leur éducation. La vérité devait forcément leur échapper. Il n'est donc pas étonnant que certaines natures droites, mais timorées ou indifférentes, aient rejeté toutes ces élucubrations. Ils n'acceptèrent que les phénomènes tels qu'ils se présentaient, sans en chercher une explication, suivant eux, impossible. Qu'y a-t-il au delà? Personne n'en sait rien, ni eux non plus. Ce sont les *Sceptiques* dont Pyrrhon fut le principal représentant chez les Grecs, et qui sont représentés de nos jours par les *Positivistes*. Leur doute était d'abord parfaitement légitime, mais en proclamant la science inaccessible à l'homme, ils le condamnaient fatalement à succomber dans la lutte pour l'existence.

En réalité, tous ces grands penseurs dont on nous fait encore admirer le génie n'étaient que des ignorants prétentieux, dont les élucubrations ont arrêté pendant de longs siècles le développement de la science. En effet, elles paralysèrent l'action de la partie la plus intelligente de l'humanité qui, seule, pouvait réagir contre l'obscurantisme religieux. Heureusement, « Nécessité l'ingénieuse », comme dit La Fontaine, devait renverser tous les obstacles accumulés pour entraver le progrès de la science.

En effet, comme avant tout il fallait vivre, ce dont prêtres et philosophes n'avaient cure, dans tous les groupes ethniques, les individus, s'affranchissant le plus possible de l'influence des aveugles qui prétendaient les guider, étudièrent dans la mesure de leur intelligence les circonstances du milieu dans lequel ils vivaient, pour en tirer le meilleur profit, et cela d'une manière d'autant plus étendue que les besoins se multiplièrent davantage. C'était la voie la plus longue, mais aussi la plus sûre, pour arriver à la connaissance complète de ce milieu, c'est-à-dire à la science.

Jetons un coup d'œil rapide sur cette succession d'efforts individuels qui n'est autre chose que l'évolution des races humaines dans la série des siècles, et nous verrons que toutes les connaissances acquises l'ont été par des observations et des expérimentations suivies d'inductions légitimes, méthode qui, comme nous le verrons par la suite, peut seule conduire à la vérité scientifique.

L'être humain, dès son apparition, suivit d'abord les traditions non interrompues des espèces zoologiques dont il était issu, comme nous le démontrerons en son lieu. Les principales le guidèrent tout naturellement dans le choix des plantes et animaux susceptibles de fournir à son alimentation. Pour lui, tous les autres étaient nuisibles ou *indifférents,* ces derniers restant indéterminés. Toutes ses

connaissances ultérieures, ou peu s'en faut, lui vinrent de son expérience personnelle.

La première en date est, sans contredit, le moyen de se procurer le feu et de l'entretenir. Ce fut la première tendance de l'homme vers les opérations chimiques : elle lui permit de modifier la consistance de ses aliments et de se garantir du froid.

Puis vint l'appréciation des propriétés physiques des matériaux capables de mettre la famille à l'abri des intempéries des saisons, matériaux pris parmi les minéraux et les débris des êtres organisés. C'est parmi eux également que furent choisis les premiers instruments d'attaque et de défense, et ceux nécessaires aux premières industries.

L'observation de la plasticité de certaines terres argileuses et de l'action produite sur elles par la chaleur solaire, puis par la chaleur artificielle, donna naissance à la céramique, si utile, non seulement à la confection des ustensiles de ménage, mais encore à la construction des habitations.

Une étude plus attentive des êtres organisés, de leur mode de croissance et de reproduction, ainsi que de leur nourriture habituelle, amena la domestication de certains animaux et de certaines plantes utiles.

Parmi ces dernières, il en était dont les fibres longues et tenaces résistaient à l'action de l'eau qui détruit toutes les autres parties. De cette observation naquit l'idée d'en tisser des étoffes propres à la confection des vêtements. Puis, par analogie, on employa au même usage la toison des animaux qui, primitivement, n'avait été utilisée qu'avec la peau qui la supporte.

L'observation de la différence de densité entre l'eau et le bois conduisit l'homme à des tentatives de navigation. Il mit *ensuite à profit la résistance* du liquide pour faire

progresser le premier bateau creusé dans un tronc d'arbre, et, plus tard, il s'aida de la mobilité de l'air.

L'examen des minéraux amena la découverte et l'emploi des métaux natifs. Puis, le feu aidant, soit par hasard, soit à la suite de tentatives expérimentales, on découvrit l'opération chimique nécessaire pour isoler ceux existant à l'état de minerai. La connaissance de la fusibilité, de la malléabilité et de la ductilité de ces corps, eut des conséquences nombreuses sur lesquelles il est inutile d'insister.

Ainsi, les premières notions scientifiques résultèrent de l'observation des propriétés physiques et chimiques des corps ; c'était le seul moyen certain de les acquérir, et elles se seraient étendues beaucoup plus rapidement si l'homme ne s'était laissé détourner de cette voie féconde par les conjectures erronées dont nous avons montré l'influence néfaste.

Ce sont les blessures reçues dans les combats qui ont fait comprendre à l'homme la nécessité de l'étude de son propre corps. Il a fallu dénombrer et classer les différentes parties dont il est composé, rechercher leur usage et observer leur mode de fonctionnement. Cette étude, hérissée de difficultés, resta longtemps fort incomplète, surtout à cause des obstacles que lui suscitèrent les erreurs philosophiques et religieuses. C'est ainsi que les maladies internes furent attribuées pendant des siècles au courroux des dieux (les traits d'Apollon chez les Grecs). Plus tard seulement, par une observation attentive, on commença à entrevoir leurs principales causes. Dès les premiers temps, les végétaux fournirent des médicaments à la médecine et à la chirurgie ; ce qui n'empêchait pas les malades d'avoir recours concurremment aux féticheurs ou aux sorciers, et à toute la série des puissances occultes qui se succédèrent dans les croyances de l'humanité. Les exemples que nous

avons encore tous les jours sous les yeux, en sont la preuve certaine.

Cette concurrence, on peut dire déloyale, retarda singulièrement les progrès de l'art de guérir; néanmoins, il finit par se spécialiser, et dans l'antiquité, comme de nos jours, les médecins contribuèrent pour la plus grande part aux progrès de la connaissance des êtres organisés et spécialement des plantes qui, connues sous le nom d'herbes ou de simples, n'avaient d'autre utilité que de combattre les maladies ou de guérir les plaies.

Toutes ces notions, dues à l'observation et à l'expérimentation, ne constituaient pas encore la science proprement dite. Les inductions que l'on en tirait ayant un but utilitaire prochain, elles formèrent ce que l'on a appelé les *Arts* et l'*Industrie*. Peu importait d'abord à l'homme de connaître les corrélations possibles entre des phénomènes en apparence éloignés, du moment qu'il pouvait en tirer une utilité pratique immédiate. Ce n'est qu'après bien des siècles, sous l'influence de la multiplication des besoins et des difficultés de la vie, qu'il devait sentir la nécessité d'une connaissance plus générale de l'univers. Mais une manifestation intellectuelle particulière hâta ce moment.

Le développement du cerveau, en permettant des sensations plus nombreuses, excita chez l'homme, non pas d'abord le désir de savoir, mais celui de voir. C'est ce que l'on observe également chez l'enfant. Lorsque son organisation cérébrale atteint un certain degré de perfection, il devient avide de sensations sans prévoir exactement ce qu'elles pourront produire un jour; ce n'est qu'à l'époque de la maturité qu'il cherche à les relier entre elles, c'est-à-dire à s'en former des idées générales précises. Si ses sensations n'ont pas été assez nombreuses et assez nettes, au moment de l'épanouissement cérébral les idées qui en résultent *sont fausses et incomplètes*. Pour les rectifier et

les compléter, il lui faut reprendre les observations premières et en ajouter de nouvelles. Les progrès intellectuels de l'humanité ont suivi une marche absolument semblable. On a donc vu beaucoup avant de comprendre un peu.

Pour satisfaire la curiosité, autrefois, comme aujourd'hui, il fallait des loisirs, c'est-à-dire n'être absorbé ni par les besoins ni par les préoccupations de la vie. C'est ainsi que les peuples pasteurs, habitant des contrées où l'atmosphère est généralement pure, ont été les premiers observateurs sérieux du cours des astres, tandis que les populations se livrant à la navigation commerciale ont seulement remarqué les étoiles qui pouvaient, pendant la nuit, guider leurs courses maritimes, acceptant, pour le reste, les conjectures superstitieuses de leur époque.

Pour voir beaucoup il faut voyager, c'est ce que firent, dans tous les siècles, les curieux de la nature, les uns se mettant à la suite des grands conquérants, les autres n'hésitant pas à s'aventurer à travers des contrées inconnues, pour recueillir des faits, collectionner des animaux et des plantes, et relever les traces des civilisations passées. Telle a été l'origine de la Géographie, de l'Histoire, de la Zoologie et de la Botanique générales.

Les observations que les anciens nous ont laissées sur toutes ces connaissances, sont le plus souvent incomplètes et mal coordonnées; nous sommes même fréquemment surpris de leur défaut de perspicacité, et même de leur naïveté enfantine. Combien de phénomènes physiques, qu'ils ont simplement signalés sans en comprendre l'importance, sont devenus la source d'acquisitions précieuses pour la science et l'industrie. Ainsi, la propriété que l'on communique à l'*Electron* en le frottant, et par laquelle il attire les corps légers, a été signalée dès la plus haute antiquité. Elle est restée néanmoins, pendant plus de deux mille ans, à l'état de simple curiosité, alors que depuis un siècle

elle est devenue la clef d'une foule de phénomènes jusqu'alors inexpliqués, et la base d'une industrie dont la suppression aurait aujourd'hui les conséquences les plus funestes pour l'humanité.

Quoi qu'il en soit, au dernier siècle avant notre ère, la science industrielle était très développée, et les observations relatives à la science pure s'étaient accumulées, sans aucune coordination régulière, il est vrai, mais le besoin d'en former un corps de doctrine se faisait sentir de toute part. Le polythéisme gréco-romain était sapé par l'incrédulité, et l'on entrevoyait le moment où les lumières de la vérité scientifique dissiperaient à tout jamais les ténèbres de l'ignorance et de l'erreur.

Malheureusement, il n'en a pas été ainsi. Les conquêtes de Rome, en incorporant plusieurs peuples de l'Asie à son empire, avaient ouvert une voie aux idées mystiques qui régnaient depuis longtemps dans cette partie de l'ancien monde, au sujet des causes des phénomènes naturels. Sous cette influence, la doctrine monothéiste pénétra graduellement parmi les populations européennes. Elle envahit d'abord les classes inférieures à la faveur du mouvement révolutionnaire qui les agitait, et finit par atteindre les classes dirigeantes ralliées depuis longtemps à son principe par les écrits des philosophes spiritualistes que l'on expliquait dans toutes les écoles.

Dès qu'elle fut agréée par le pouvoir, elle entreprit une croisade contre le mouvement scientifique qui, après avoir préparé la chute du polythéisme, aurait fini par l'attaquer. Elle trouva de puissants auxiliaires dans les nations barbares qui se répandirent dans l'empire romain durant le quatrième et le cinquième siècle. Ces hommes du Nord qui, jusque-là, étaient restés étrangers à toute espèce de civilisation, furent accueillis à bras ouverts par les prêtres chrétiens, et, *sous leur patronage,* toutes les écoles furent

2

fermées et les corps enseignants dispersés par la forc
Les anciennes populations, terrorisées par le pillage
les massacres, finirent par perdre jusqu'au souvenir d
l'époque où les arts et l'industrie étaient si florissants,
par partager l'ignorance et les mœurs brutales de leu
barbares conquérants.

Vers le treizième siècle, à la suite du réveil politiq
des principales cités et de la lutte si énergique qu'ell
soutinrent contre le pouvoir féodal des seigneurs et de
évêques, les tendances de l'esprit humain vers les recher
ches qui pouvaient satisfaire les besoins matériels et l
curiosité se manifestèrent d'une manière impérieuse. O
commença à mettre en doute les explications scientifique
de la Bible chrétienne, seul livre qui, depuis six cents ans
avait dû suffire à toute instruction, et dont les doctrine
avaient été imposées par la force. Les premiers dissident
se rencontrèrent parmi les membres de ce clergé qui seu
profitait alors de ce qui restait de l'enseignement pu-
blic.

Pour arrêter ce nouvel essor de l'esprit humain et l
imposer des limites qu'elle espérait devoir être infranchis-
sables, l'autorité ecclésiastique créa de toute pièce un
fausse science à l'aide des prétendues vérités, dites révé-
lées, et de quelques débris informes et dénaturés des pro-
ductions de l'antiquité, et spécialement des œuvres d'Aris-
tote, sous le patronage duquel elle fut placée. Ce qu'on
appelé la *Scolastique* du moyen âge, fut imposé au
esprits au même titre que le livre divin, et il leur fallut, d
gré ou de force, se contenter de cette lueur plus trompeus
que l'obscurité elle-même.

Avant de montrer comment l'intelligence humaine par-
vint à renverser ces nouveaux obstacles opposés à son dé-
veloppement progressif, je dois signaler un point d
l'évolution scientifique qui a eu, par l'importance exagéré

qu'on lui a donnée, une influence fâcheuse sur les progrès de la vraie science.

Dans les recherches que l'homme eut à faire pour satisfaire à ses besoins et à ceux du groupe ethnique dont il faisait partie, il fut amené forcément à mesurer des quantités de diverses natures, celles des nombres et celles de l'étendue, soit en surface, soit en volume.

Ces mesures donnèrent des résultats d'une précision telle qu'on crut y voir la source unique de la certitude, et, par conséquent, de la vérité. Les philosophes de toutes les sectes se livrèrent avec une sorte de frénésie aux calculs des nombres et de l'étendue ; les Pythagoriciens en firent même la base de leur philosophie.

Pour eux, les nombres étaient le principe des choses. L'unité, ou *monade*, occupe le premier rang, comme génératrice des autres : c'est Dieu. La *triade*, formée des deux premiers nombres, la monade, ou le parfait, et la *dyade*, ou l'imparfait, avait des propriétés mystiques. La *tétrade*, formée du premier carré, était aussi un des éléments principaux. Mais c'était surtout la *décade* qui, comme réunion des quatre premiers, jouait le rôle principal.

En dehors de ce point de vue purement abstrait, on a fait de la Mathématique une science spéciale, que l'on a cultivée pour elle-même et poussée à son extrême limite avec une passion vraiment incroyable, en perdant de vue son but pratique et utilitaire. On tomba d'autant plus facilement dans cette exagération, que les religions n'y voyaient rien de dangereux, ou même de suspect, pour les croyances dont elles étaient dépositaires.

Loin de moi la pensée de nier les services que les mathématiques ont rendus à la science. C'est surtout dans ses applications, c'est-à-dire dans les arts et l'industrie qu'elles ont une utilité pratique incontestable ; mais, au point de vue *purement scientifique*, leur importance a été

exagérée. Elles sont impuissantes lorsqu'il s'agit de spécifier la nature et les causes des phénomènes ; tout au plus peuvent-elles nous indiquer leurs rapports et leurs proportions. On les a vues, néanmoins, envahir des arts auxquels, en apparence et en réalité, elles sont absolument étrangères.

Ainsi, la doctrine iatro-mécanique a donné pour base les calculs arithmétiques et géométriques à l'étude de la physiologie normale et pathologique. Dans l'observation des maladies aiguës, le nombre des jours écoulés a eu une importance fatidique, qui rappelle les égarements des Pythagoriciens.

Enfin, confondant le but à atteindre et les moyens employés pour y parvenir, les mathématiciens ont été jusqu'à classer l'astronomie et la mécanique parmi les branches de la science des quantités.

Aujourd'hui encore, dans l'enseignement classique, qui devrait être purement scientifique, puisque les neuf dixièmes des élèves se destinent aux carrières libérales, et que, pour les autres, il est toujours suivi d'une instruction professionnelle spéciale, on ne montre de la physique que les calculs mathématiques qui permettent d'appliquer aux arts les phénomènes de cet ordre. De sorte que de leurs études il ne reste à nos bacheliers aucune idée vraiment scientifique, mais seulement le souvenir confus de calculs plus ou moins transcendants dont la plupart n'ont pas compris le but et la portée.

En résumé, les mathématiques ont rendu à la science pure des services incontestables ; elles sont indispensables dans l'industrie ; mais ce sont des moyens, des instruments, qui doivent être écartés, une fois le résultat obtenu. Quand un monument est achevé, on fait disparaître les outils dont les ouvriers se sont servi pour l'édifier.

Du reste, cette précision, si chère aux mathématiciens,

ne se rencontre pas dans la nature. Les astres ne sont pas des sphères, mais des sphéroïdes; les courbes qu'ils décrivent ne sont pas des cercles, ni même des ellipses, mais des ellipsoïdes sans cesse se modifiant, avec une extrême lenteur qui n'échappe pas à la précision des calculs. Ceux-ci ont toujours besoin d'être contrôlés par l'observation directe. En effet, dans l'univers, les phénomènes sont tellement multiples, tellement entassés les uns sur les autres, si je puis m'exprimer ainsi, qu'ils troublent toutes les prévisions en se modifiant sans cesse les uns les autres.

Parmi les manifestations de l'activité de la matière, la cristallisation seule donne à certains corps des formes géométriques; mais ces formes n'apparaissent dans leur pureté que dans les expériences de laboratoire : dans la nature, elles se trouvent toujours compliquées par des mélanges de substance, de telle sorte que les plus habiles géomètres sont souvent dans l'impossibilité de les spécifier. D'ailleurs, les cristaux seraient-ils toujours parfaitement réguliers, tous les calculs du monde ne pourraient en expliquer la cause et le mode de formation, seules questions intéressantes au point de vue purement scientifique.

Je reviens à la fausse science imposée systématiquement pendant le moyen âge. Un seul exemple suffira pour montrer sa valeur et faire voir combien elle a entravé les progrès de la vérité.

A une époque difficile à préciser, il a été reconnu comme vérité incontestable que Dieu, en créant la première femme et la première femelle de tous les animaux, avait inclus dans son ovaire le germe de tous les individus qui devaient se succéder sur la terre dans la suite des siècles jusqu'à la fin du monde; que ces germes étaient emboîtés les uns dans les autres, et que, malgré leur réduction de volume, ils *présentaient tous les détails* d'organisation que nous

constatons chez l'adulte. La semence du mâle était le premier aliment qui, seul, convenait à ces organismes infiniment petits. Le mérite de cette affirmation, qu'aucune observation sérieuse n'avait autorisée et encore moins confirmée (1), était de couper court à toute recherche sur la génération, et de rendre indiscutable la création divine et la fixité des espèces.

Bien que, dès le milieu du dix-huitième siècle, il ait été démontré qu'elle était absolument fausse, et que les embryons de tous les animaux, comme celui de l'homme, se développaient par l'apparition successive des organes, il n'y a pas encore soixante ans que la science officielle française a renoncé à la théorie de l'emboîtement des germes. Le célèbre naturaliste Cuvier, plus bibliste encore que savant, a été le dernier défenseur autorisé de cette folle élucubration de je ne sais quel cerveau fanatique.

On comprend donc le mouvement énergique de réaction qui se manifesta contre la scolastique du moyen âge, lorsque, dans le courant du seizième siècle, la prise de Constantinople par les Turcs répandit dans tout l'Occident les débris de la science antique, qui, depuis mille ans, y étaient restés confinés, du reste à l'état de lettre morte, sous la sauvegarde de l'empire grec, dernier débris de la puissance romaine.

Nous devons signaler, tout d'abord, les critiques mordantes de Rabelais et d'Erasme, qui jetèrent le ridicule sur tout cet ergotage suranné dont se faisaient gloire les faux savants de l'époque. Mais il ne suffisait pas de signaler à

(1) Des observations mal interprétées, publiées par Aromatori, de Venise, sur les graines des végétaux, par Swammerdam, d'Amsterdam, sur les chrysalides des insectes, et par Malpighi sur les œufs de poule, avaient donné un semblant de réalité à cette conjecture. Aujourd'hui, il a été reconnu que toutes étaient entachées *d'erreurs souvent* grossières.

la réprobation générale le gâchis dans lequel on pataugeait depuis trois cents ans, il fallait indiquer la seule voie praticable pour en sortir et arriver à la vérité. Ce rôle glorieux était réservé à François Bacon (1).

L'illustre chancelier d'Angleterre formula d'une manière magistrale les règles fondamentales qui devaient servir de base à la vraie science. Il est d'abord indispensable d'écarter toutes ces conceptions à priori érigées en principes, desquels on prétend faire découler l'explication de tous les phénomènes de la nature; pour trouver leur véritable interprétation, il faut que celle-ci ressorte naturellement de leur observation, ainsi que des expériences instituées pour les reproduire artificiellement et les contrôler s'il est possible. La méthode vraiment scientifique se résume donc dans ces trois termes : observer, expérimenter et induire. Si l'induction première est reconnue fausse, c'est-à-dire si elle est contredite par de nouvelles observations et expérimentations, il faut observer et expérimenter de nouveau, jusqu'à ce que l'explication du phénomène soit la résultante nécessaire et forcée de toutes les observations et expérimentations. La science est une chambre meublée d'une certaine façon, mais plongée dans une obscurité complète. Pour se rendre compte de la nature des meubles et de leur disposition, il faut procéder par une exploration méthodique. Si l'on y pénètre avec des idées préconçues, on est sûr de se heurter à chaque pas contre des obstacles imprévus.

Telle est, dans toute sa simplicité, la méthode scientifique par *induction*, entrevue par les savants grecs, tels que Thalès, Anaximandre, Hippocrate, Démocrite et Épicure, mais qu'ils ne purent ou ne surent mettre régulièrement en pratique. On pourrait peut-être en dire autant de

(1) *Fr. Bacon, 1561-1626.*

Fr. Bacon qui aborda la science à un âge où on n'a plus le temps d'observer et d'expérimenter. Néanmoins, il suffit à sa gloire d'en avoir démontré l'importance et d'en avoir formulé les règles avec toute la précision et la hauteur de vue que comportait son génie.

Le premier grand révolutionnaire, celui qui fit table rase de la scolastique, René Descartes (1), ne suivit malheureusement pas la méthode du philosophe anglais, tout au moins dans son esprit, si ce n'est dans sa lettre. Elève des jésuites, imbu de la doctrine des conceptions à priori, il ne put s'en affranchir d'une manière complète.

Dans ses recherches sur les forces qui dirigent l'univers et gouvernent l'organisme humain, il prit bien pour base l'observation, mais l'observation intérieure, c'est-à-dire la pensée observée par la pensée, conception absurde puisqu'il n'est possible de juger de la valeur d'une pensée, d'une idée, qu'en contrôlant les sensations extérieures qui en sont l'origine. Quoi qu'il en soit, elle devait seule le mener à la certitude. Voici, en quelques mots, cette certitude tant désirée. « Je pense, or la matière ne peut pas penser, donc il y a en moi autre chose que la matière; c'est l'âme. — Je trouve en moi l'idée du fini (borné) et de l'imparfait, et par conséquent celle de l'infini et du parfait. Or, cette dernière idée n'est autre que la notion de Dieu; donc il existe, car on ne peut avoir la notion de ce qui n'existe pas. »

Tels sont les résultats obtenus par cette merveilleuse méthode que l'on nous a fait tant admirer au collège. On retrouve là l'ergotage de la scolastique dont avait été imprégné le for intérieur du philosophe.

D'autre part, comme Descartes était grand mathématicien, dans le monde extérieur il ne voit partout que méca-

(1) *René Descartes*, 1596-1650.

nique. « Qu'on me donne de la matière et du mouvement, dit-il, et je ferai un monde. »

Suivant lui, ce sont des tourbillons de la substance éthérée qui maintiennent les astres dans leur forme sphéroïdale et leur font décrire des courbes les uns autour des autres. La lumière est une vibration de l'éther. Ici, il approche de la vérité, mais d'une manière inconsciente, car l'observation et l'expérimentation sont absolument étrangères à ces conceptions de son imagination.

« Tous les corps, dit-il ailleurs, sont faits d'une même matière dont les petites parties qui composent les uns, ont d'autres figures ou sont autrement arrangées que celles qui composent les autres. »

Il dissèque les animaux avec passion, et il en conclut que ce sont des *machines*. En effet, ils ne peuvent avoir d'âme, puisque la pensée, sa caractéristique principale, n'existe que chez l'homme.

Comme on le voit, toute la doctrine de Descartes repose sur des conceptions à priori, de prétendus axiomes, et des observations incomplètes. En somme, ce grand révolutionnaire, n'est qu'un hybride spirituo-matérialiste. La vraie science est étrangère à son œuvre. Néanmoins, l'autorité politique et religieuse de son temps y a trouvé matière à persécution, puisqu'il est mort victime du climat de la Suède où il avait dû se réfugier.

Quoi qu'il en soit, les préceptes de Bacon avaient produit des résultats sérieux. Gassendi et Hobbes (1), ses contemporains, avaient bouleversé la scolastique de fond en comble. Locke (2) avait réfuté l'innéité des idées, adoptée par les philosophes spiritualistes, en montrant que dans l'intelligence tout procède des sensations. Mais tous ces pro-

(1) Gassendi, *1592-1655; Hobbes*, 1588-1679.
(2) *Locke, 1632-1688.*

grès s'effacent devant la grande découverte de *Newton* (1).

On peut dire que la véritable science, c'est-à-dire la connaissance exacte des causes des phénomènes naturels par l'observation et l'expérimentation, ne date que du jour où cet homme supérieur établit d'une manière positive que *tous les corps s'attirent en raison directe de leur masse, et en raison inverse du carré des distances*. Cette découverte expliqua du même coup tous les phénomènes relatifs à la pesanteur, et l'influence que les divers corps du système solaire exercent les uns sur les autres, spécialement les courbes qu'ils décrivent. Elle rendit compte également de la cohésion qui réunit d'une manière plus ou moins énergique les particules matérielles en corps solides, liquides ou gazeux.

Cette propriété générale de la matière, c'est l'*Attraction*.

Dans l'enthousiasme qu'excita cette première vérité, parmi le monde savant, on n'hésita pas à rattacher à l'attraction toutes les combinaisons chimiques ; c'était une erreur que les travaux de *Lavoisier* (2) devaient seuls dissiper cent ans après Newton.

Pour bien faire comprendre l'importance des découvertes du chimiste français pour les progrès de la vraie science, nous allons jeter un coup d'œil sur les origines de la chimie et sur son état au dix-huitième siècle.

Comme je l'ai déjà dit, c'est après la découverte du feu que l'animal *Homme* a commencé à pouvoir modifier à sa volonté la composition des corps. La cuisine, la céramique et la métallurgie sont les premiers arts industriels qui en ont été la conséquence ; puis sont venues ensuite la fabrication des liqueurs fermentées et celle des médicaments. Mais, de toutes les observations et expérimentations

(1) Newton (Isaac), 1642-1727.
(2) *Lavoisier*, 1743-1794.

qui ont été la base de ces arts, il n'a su tirer, que de nos jours, des inductions réellement scientifiques.

C'est encore à la philosophie qu'il faut attribuer cette longue série de siècles d'ignorance. Les philosophes admirent, tout d'abord et sans preuve, l'existence de quatre éléments qui sont, par ordre de condensation décroissante, la terre, l'eau, l'air et le feu, chacun accordant la prépondérance à l'un ou à l'autre, suivant les caprices de son imagination. Bien que certains d'entre ces sages aient admis, en outre, l'existence de l'éther comme agent de transformation, la doctrine des éléments, vérité soi-disant fondamentale, entrava tout progrès, comme le font toutes les conceptions à priori. En effet, toute tentative d'analyse expérimentale devenait inutile, puisque ces éléments étaient déclarés premiers, c'est-à-dire indécomposables.

On ne songea donc pas à contrôler l'affirmation des philosophes ; mais on en *déduisit* que, la terre étant un élément et les métaux étant formés de terre, il devait être possible de les transmuter, autrement dit, de les transformer les uns dans les autres. Comme l'or était celui auquel de tout temps on accorda le plus de valeur, on chercha à faire de l'or. C'est le *Grand Œuvre* auquel se consacrèrent les alchimistes dont l'origine se perd dans la nuit des temps. Pour l'accomplir, il s'agissait de découvrir la *pierre philosophale* on *poudre de projection*, qui, jetée dans un métal inférieur en fusion ou en dissolution, devait le transmuter en métal supérieur, or ou argent.

Les alchimistes peuvent se diviser en deux catégories : les fripons, dont l'espèce s'est perpétuée jusqu'à nos jours, et les gens convaincus. Parmi ces derniers, il y eut des esprits supérieurs qui mirent à profit leurs recherches mystérieuses pour étudier certains corps, en spécifier les propriétés, les classer et déterminer les méthodes pour les *préparer. Ce sont eux* qui furent les fondateurs de la

chimie scientifique. Au dix-septième et au dix-huitième siècle, ses progrès firent reléguer la transmutation parmi les utopies, sans qu'on se soit rendu un compte exact des causes qui la rendaient impossible. D'ailleurs, le charlatanisme éhonté de la plupart des alchimistes, suffisait pour déconsidérer le Grand Œuvre..

La chimie n'en restait pas moins pleine d'obscurité, surtout à cause de la prétendue simplicité des éléments, tels que l'air et l'eau, et de l'ignorance dans laquelle on était de la véritable nature du feu; on n'avait aucune idée de ce que pouvait être la combustion.

Ainsi, les scolastiques, suivant servilement la tradition de l'ancienne philosophie, regardaient le feu comme un élément. Pour les Cartésiens, c'était un mouvement des particules des corps, causé par la matière subtile dans laquelle ils nagent. Selon Newton, c'était simplement un corps échauffé. Toutes conjectures purement gratuites.

Un moment, on crut tenir la véritable explication de ce phénomène mystérieux. Je veux parler de la théorie que Stahl (1), professeur de médecine à l'Université de Hall, publia à la fin du dix-septième siècle. En voici le résumé.

Le feu qui brûle n'est autre chose qu'une matière mise en mouvement; mais toute matière n'est pas propre à recevoir, entretenir ou communiquer ce mouvement d'ignition, cause prochaine de la chaleur. Il y a dans la nature une substance essentiellement douée de ces propriétés, et des corps plus ou moins pourvus de ce principe qui est le *phlogistique*. C'est le plus puissant dissolvant. Il est aux métaux ce que l'eau est aux sels et le mercure à l'or, dans l'amalgame. Quand on enlève le phlogistique aux métaux, ils se transforment en leurs terres qui en sont les principes

(1) Stahl, 1660-1634.

(toujours l'idée de la terre élément). Pour leur faire reprendre l'état métallique, il faut leur rendre une grande quantité de phlogistique qui les liquéfie, et par la perte du phlogistique en excès (refroidissement), ils deviennent solides. Tous les liquides contiennent un excédent de ce feu fixe à l'aide duquel ils dissolvent d'autres corps.

L'erreur de Stahl est d'avoir pris pour base de sa théorie des expériences incomplètement observées. En effet, s'il eut pesé la terre métallique, soi-disant déphlogistiquée, il aurait reconnu qu'elle était plus lourde que le métal d'où elle provenait, et que, par conséquent, elle avait, non pas perdu, mais acquis un principe nouveau.

Quatre-vingts ans plus tard, Lavoisier, à la suite d'expérimentations plus exactes, spécialement à l'aide de pesées rigoureuses, découvrit enfin la vérité. Il montra que les métaux, en se transformant en terre, augmentaient de poids, juste d'une quantité égale à celle que l'air ambiant perdait pendant l'opération, et que ce qui restait de cet air était impropre à entretenir la combustion. Le gaz absorbé par le métal en était donc la seule cause : c'était l'oxygène. Le feu n'était, par conséquent, que le résultat de la combinaison de deux corps avec dégagement considérable de chaleur.

Enfin, Lavoisier et ses élèves directs établirent d'une manière définitive que les quatre éléments admis par l'antiquité ne méritent pas ce nom. Le feu n'est pas une substance particulière, l'air est un mélange d'oxygène et d'azote, l'eau, une combinaison d'oxygène et d'hydrogène, et la terre, une réunion de corps simples combinés diversement entre eux, et que l'analyse spécifiera tôt ou tard. Ils induisirent, en outre, de toutes leurs expériences, que les combinaisons chimiques sont dues à une propriété spéciale de la matière, l'*Affinité*, absolument distincte de l'attraction avec laquelle elle est toujours en lutte.

A l'époque de la Révolution française, la méthode, si bien formulée par Fr. Bacon, avait donc jeté les bases fondamentales de la physique et de la chimie, et montré que la matière, par ses deux propriétés les plus importantes, l'attraction et l'affinité, pouvait être considérée comme la cause première des principaux phénomènes dont l'univers est le théâtre.

Il restait à spécifier son rôle dans la production de la chaleur, de la lumière, de l'électricité et du magnétisme, noms sous lesquels l'observation et l'expérimentation avaient permis de grouper tous les autres phénomènes physiques. Mais, à la fin du dix-huitième siècle, les savants n'avaient pas encore renoncé, d'une manière assez complète, aux conjectures pour qu'il leur ait été possible d'arriver ainsi d'emblée à la vérité.

Pour la lumière, Newton avait substitué à l'hypothèse des *vibrations* éthérées de Descartes, celle de l'*émission* d'une matière subtile par les corps lumineux; et son autorité l'avait tellement enracinée dans l'esprit des hommes de science, qu'il a fallu près de deux siècles d'observation et d'expérimentation pour que sa fausseté fût enfin démontrée et reconnue. Quant aux trois autres groupes de phénomènes, on les attribuait sans preuves certaines à d'autres fluides spéciaux, dits impondérables, qui étaient capables de mettre la matière en mouvement.

Voyons, maintenant, quels furent les progrès de la science des êtres organisés. Comme nous l'avons vu plus haut, les observations dont ils avaient été l'objet dans l'antiquité avaient eu surtout un but utilitaire, et, par conséquent, avaient été limitées aux plantes et aux animaux dont on pouvait tirer profit dans les arts et dans l'industrie. L'expérimentation n'a pas eu en général d'autre but; aussi, les connaissances des anciens en biologie avaient-elles été très restreintes.

Leur botanique laissait surtout à désirer. Pour les Grecs, toutes les plantes marines étaient des φῦκος, et pour les Romains, des *alga*. Parmi les champignons, on ne distinguait que les vénéneux et les comestibles ; c'est à peine si on dénommait quelques espèces de ces derniers. Toutes les mousses étaient confondues sous ce nom générique ; et, parmi les cryptogames vasculaires, on ne connaissait que quelques espèces de fougères ou de queues de cheval, auxquelles on attribuait des vertus médicinales. On peut dire, en résumé, que les anciens ne distinguaient bien que les plantes à fleurs qui leur étaient utiles ou agréables, soit dans leur totalité, soit dans leurs parties. Quant à la physiologie végétale, ils savaient seulement que les racines pompaient les sucs de la terre, et qu'on les retrouvait dans la tige et les feuilles, enfin que les fleurs servaient à la reproduction. Dans celles-ci, ils avaient distingué les organes mâles et les organes femelles, et ils savaient que la poussière qui s'échappe des premiers, fécondait les seconds.

Les écrits d'Aristote (1) nous montrent que les animaux étaient relativement mieux connus. Les espèces terrestres et aquatiques, qu'il décrit avec beaucoup d'exactitude, sont très nombreuses. On les avait disséquées ; on avait distingué la plupart de leurs organes intérieurs et quelques-unes de leurs fonctions ; mais d'autres, tels que le système nerveux, avaient été mal vus et par conséquent mal compris. Ces observations avaient même été contrôlées par quelques expériences sur le vif. Ainsi, Galien (2), au deuxième siècle de notre ère, avait reconnu que chez l'animal vivant les artères étaient pleines de sang, bien qu'elles soient toujours vides sur le cadavre ; mais il n'avait su

(1) Aristote, 384-322 avant notre ère.
(2) Galien, *131-210*.

tirer aucun parti de cette découverte, bien qu'elle renversât la théorie par laquelle on prétendait expliquer la vie.

Cette théorie d'ailleurs très vague, comme toutes celles des anciens, l'attribuait à des *esprits animaux* qui circulaient dans les vaisseaux artériels. Ces esprits allaient, disait-on, se revivifier au poumon au contact de l'air qui y pénétrait par la trachée artère ou artère du cou. Cette croyance rééditée par la scolastique persista jusqu'au dix-septième siècle.

Pour en finir de suite avec toutes les hypothèses fantaisistes sur les causes de la vie, je dirai qu'au treizième siècle Thomas d'Aquin (1227-74) l'attribuait à l'âme chargée de l'organisation du corps et de son entretien. Les animaux avaient aussi une sorte d'âme mais de qualité bien inférieure à celle de l'homme. Plus tard, Stahl, l'inventeur du phlogistique, reprit ces doctrines animiques qui n'avaient pas prévalu contre celles des esprits animaux. Enfin, à la fin du siècle dernier, Barthez et l'École de médecine de Montpellier accordèrent à l'âme une servante pour la direction de son ménage corporel; c'est le Principe vital ou âme de second rang, chargée de tous les travaux intérieurs. En général, les philosophes spiritualistes se préoccupèrent peu des causes de la vie; c'est à peine s'ils cherchèrent à lui trouver une résidence. Pour Descartes, le corps de l'homme était une machine comme celui de tous les animaux et son âme siégeait dans la glande pinéale, petit organe rudimentaire, de la grosseur d'un petit noyau de prune, située au centre du cerveau sur la ligne médiane. Laissons là toutes ces fantaisies et revenons à la science.

Généralement, les descriptions des êtres organisés données par les naturalistes de l'antiquité étaient suffisamment exactes, si bien qu'au seizième siècle, à la renaissance des sciences, il fut facile, lorsque leur œuvre fut reprise, de reconnaître les espèces dont ils avaient ébauché

l'histoire. Mais, comme la découverte de nouveaux continents avait singulièrement augmenté le nombre des plantes et des animaux connus, plusieurs naturalistes, et des plus éminents, pensèrent qu'il importait avant tout, pour se reconnaître au milieu de ces multitudes, d'en opérer le classement méthodique, et ils se mirent à l'œuvre avec ardeur.

Malheureusement, le succès ne pouvait couronner leurs efforts. Comme le dit Buffon, « une classification suppose une connaissance exacte de chaque objet en entier, une connaissance complète de ses qualités et de ses propriétés. Elle suppose, par conséquent, la science de l'histoire naturelle parvenue à son point de perfection ». Comme on en était encore bien loin, ces classifications, si péniblement élaborées, amenèrent des confusions et des rapprochements déplorables, qui vulgarisèrent des erreurs que par la suite on eut beaucoup de peine à dissiper.

Pendant que certaines intelligences dévoyées s'épuisaient ainsi à vouloir fixer une science à peine ébauchée, les préceptes de Bacon, patiemment et prudemment mis en pratique, amenèrent une foule de découvertes précieuses sur la nature et la disposition des organes des êtres vivants et sur leur mode de fonctionnement; mais celle de la circulation du sang chez les vertébrés, eut de beaucoup les conséquences les plus fécondes. Entrevue par Michel Servet (1), qui mourut victime du fanatisme protestant, elle fut définitivement établie par l'anglais Guillaume Harvey (2).

L'année 1628, dans laquelle furent publiées : Gulielmi Harvei, medici regis, *Exercitationes anatomicæ de motu cordis et sanguinis circulo*, est une date aussi mémorable que celle de 1686, où parut l'immortel ouvrage de Newton,

(1) Michel Servet, 1509-1553.
(2) Harvey, 1578-1657.

Philosophiæ naturalis principia mathematica, et celle de 1778, année durant laquelle Lavoisier publia la *Théorie de l'oxygène et de ses combinaisons*. Bien que moins fondamentale que celles de l'attraction et de la nature du feu, la découverte de la circulation n'en eut pas moins des conséquences d'une très grande importance. Elle permit de se rendre compte de l'absorption des aliments digérés, du mode de nutrition des organes et de la sécrétion des glandes. Elle détruisit la théorie des esprits animaux que l'on croyait renfermés dans les artères. On les transporta, il est vrai, dans les nerfs, mais c'était se rapprocher de la vérité en donnant au système nerveux, jusque-là méconnu, une importance légitime. En 1789, on les avait remplacés par le fluide nerveux qui venait ainsi se ranger à côté des fluides électriques, calorifiques et autres. De plus, à la même époque, le cerveau était reconnu comme le siège des facultés intellectuelles; les nerfs lui transmettaient les sensations et lui permettaient de fournir aux muscles la force contractile. Enfin, on commençait à entrevoir le mode de reproduction des animaux et les procédés à l'aide desquels ils se développent.

Mais il était réservé au dix-neuvième siècle de montrer comment l'activité de la matière arrive à produire tous les phénomènes physiques, chimiques et biologiques, et comment tous ces phénomènes se sont enchaînés pour produire le système solaire tel que nous l'observons, la terre dans les conditions où elle se trouve aujourd'hui, et enfin les êtres organisés qui occupent une partie de sa surface. Toutes ces connaissances sont indispensables à l'homme pour lui permettre de lutter contre les obstacles qui non seulement entravent son développement, mais tendent sans cesse à le faire rétrograder.

Ce que j'avance ici, n'est pas une simple vue de l'esprit; l'histoire de l'humanité abonde en exemples qui

prouvent l'exactitude de la proposition que je viens de formuler.

Tous les groupes ethniques, quelle qu'en soit l'importance, qui se sont arrêtés dans la voie du progrès, ont succombé fatalement dans la lutte pour l'existence, lorsque les circonstances de leur milieu, en se modifiant, ont mis à l'épreuve leur force de résistance.

Sans m'arrêter aux peuplades sauvages que nous voyons tous les jours disparaître au contact de la civilisation européenne, qu'elles ne comprennent pas et que, par conséquent, elles ne peuvent s'assimiler, je citerai toutes ces civilisations inconnues, dont les voyageurs qui parcourent l'Amérique du Nord et l'Asie orientale, exhument les monuments grandioses. Elles nous rappellent ces reptiles gigantesques que l'on découvre dans les terrains secondaires et qui, malgré leur force colossale, ont disparu, faute de pouvoir se modifier en même temps que le milieu dans lequel ils vivaient. Ces constructions étranges portent toutes le cachet des autocraties politiques et religieuses qui, dans tous les temps et dans tous les lieux, ont arrêté les progrès de la science.

Relativement à d'autres populations, l'histoire nous a rapporté en détail ces effondrements qui surprennent tout d'abord. Que sont devenues ces puissantes nations de l'Asie centrale, qui se sont succédées dans les huit ou dix siècles qui ont précédé notre ère? Toutes, après avoir brillé d'un grand éclat dans les arts et l'industrie, se sont anéanties au moment de l'apogée du pouvoir monarchique. La civilisation égyptienne avec son régime théocratique a disparu sans retour. Les conquêtes du despote macédonien ont arrêté dans son essor la civilisation si pleine d'avenir des peuples de la Grèce, en leur supprimant la liberté et en les initiant au mysticisme religieux de l'Orient. Le pouvoir *autocratique* des empereurs romains

a enrayé le mouvement intellectuel si prononcé qui a marqué les derniers temps de la république romaine, et l'invasion des doctrines du christianisme a failli anéantir la civilisation antique. Celle des Arabes a disparu par le fait des dynasties ottomanes, qui, avec le pouvoir personnel le plus fantaisiste, imposèrent l'interprétation la plus étroite des préceptes religieux de l'Islamisme. L'Espagne, après Charles-Quint et Philippe II, est tombée au dernier rang des nations sous l'influence stérilisante de l'Inquisition. Enfin, c'en était fait de la France elle-même, si le régime théocratique, établi par Louis XIV et maintenu par ses débiles successeurs, n'avait été renversé par l'effort puissant du peuple, éclairé par les savants du dix-huitième siècle, par les philosophes comme on disait alors.

Aujourd'hui, plus libre peut-être au point de vue politique que les nations voisines, notre patrie, encore esclave de superstitions séculaires, se voit devancée par celles-ci dans le mouvement scientifique général. C'est à grand'peine que les découvertes, faites au delà de ses frontières, parviennent à les franchir, et son enseignement universitaire est toujours en retard d'un demi-siècle. On peut même dire que l'influence si considérable de la révolution sur toute l'Europe occidentale, a eu des conséquences scientifiques plus favorables chez nos voisins que chez nous.

Nous sommes donc forcé d'avouer que dans l'exposition que nous allons faire des progrès de la science pendant le siècle qui va finir, la part de la France ne sera pas aussi importante qu'aurait pu le faire supposer l'essor si brillant qui s'était manifesté durant les dix années qui s'écoulèrent depuis la chute de l'ancien régime jusqu'à la confiscation de nos libertés politiques et religieuses par Napoléon.

Espérons que le maintien du régime républicain dans

notre pays finira par émanciper définitivement les savants français et leur permettra de prendre leur part légitime dans les progrès qui restent à accomplir.

§ 3. DE LA MÉTHODE ET DES MOYENS EMPLOYÉS PAR LA SCIENCE.

Induction. — Astronomie: télescope; analyse spectrale; photographie. — Géologie: géographie; météorologie; sysmologie; stratigraphie; paléontologie; pétrographie.— Biologie: microscope; vivisections; nécropsie. Physique et chimie: expérimentation; le gallium.

Comme nous venons de le démontrer, les seules bases certaines de la science sont : l'observation, l'expérimentation et l'induction qui est le résultat des deux premières. En d'autres termes : après s'être dépouillé de toute idée préconçue, il faut observer les faits en eux-mêmes et dans leurs relations avec d'autres faits, puis contrôler ces observations par des expériences, qui, en reproduisant tout ou partie des phénomènes, montrent s'ils ont été bien appréciés et si leurs relations sont bien réelles, et enfin tirer de ces observations et expériences leurs conséquences naturelles.

L'observation doit être complète, exacte et précise. L'expérimentation, quand elle est possible, doit reproduire les phénomènes dans des conditions absolument identiques à celles dans lesquelles ils se présentent naturellement. Quant à l'induction, il faut qu'elle découle de l'observation et de l'expérimentation, sans qu'il soit permis de faire intervenir aucune considération étrangère. Si d'autres faits paraissent la contredire, on doit reprendre l'étude des premiers, les soumettre à un nouvel examen, à de nouvelles *expériences*, et, si l'erreur est démontrée,

renoncer aux premières inductions et en tirer de nouvelles.

Parmi les diverses branches de la science, les unes, l'astronomie et la géologie, sont réduites à l'observation, ou ne se prêtent à l'expérimentation que dans des limites très restreintes, tandis que la biologie, ou étude des êtres organisés, profite de ces deux moyens d'investigation. Enfin, la physique et la chimie sont presque exclusivement expérimentales. Voilà la méthode, passons maintenant aux moyens.

Réduit à ses organes des sens pour surprendre la nature et le secret enchaînement des phénomènes de l'univers, l'homme n'aurait jamais pu constituer la science telle qu'elle existe aujourd'hui, si le développement de son intelligence ne lui eut permis d'en étendre la portée et de suppléer à leur insuffisance par les moyens que les recherches scientifiques elles-mêmes pouvaient lui fournir.

Nous allons jeter un rapide coup d'œil sur ces divers moyens d'investigation en suivant l'ordre des divisions de la science, tel que nous venons de l'indiquer. Cet exposé permettra de comprendre comment on est arrivé à une connaissance relativement si précise de l'univers. Sans cela, le tableau que nous en présenterons pourrait paraître purement hypothétique et même une invention de l'esprit.

Astronomie. — Les observateurs de l'antiquité, réduits au pouvoir optique si restreint de l'œil humain, ne purent se faire aucune idée exacte des corps célestes. Le progrès dans ce sens n'a été sensible que depuis l'invention de l *lunette astronomique* (seizième siècle), puis du *télescop* (1663). Dans le premier de ces deux instruments, un grande lentille bi-convexe, tournée vers l'objet céleste, e donne une image réelle amplifiée que l'œil examine *l'aide d'une autre* lentille qui l'amplifie encore davantage

Dans le télescope, la lentille objective est remplacée par un miroir métallique concave qui fournit également une image agrandie de l'astre. Toutes ces amplifications donnent l'illusion d'un rapprochement plus ou moins considérable.

Dans l'état actuel de l'industrie optique, on ne peut guère obtenir un grossissement de plus de deux mille fois. Le grand télescope de Lord Ross en promettait six mille; mais cette amplification a été rendue illusoire par le peu de netteté des images, conséquence du défaut d'homogénéité de la matière employée et de l'irrégularité de la surface réfléchissante d'une étendue trop considérable. Aujourd'hui, nous pouvons voir nettement la lune comme si elle n'était éloignée de nous que de 176 kilomètres, la distance réelle étant en moyenne de 96 100 lieues. C'est déjà un résultat fort important. Cependant, grâce aux progrès possibles de l'industrie de l'opticien, on peut espérer que tôt ou tard les télescopes atteindront une puissance encore plus considérable, ce qui nous permettra de donner à nos connaissances en astronomie physique plus d'étendue et de précision.

Les notions si exactes que nous possédons sur la mécanique céleste, sont dues aux calculs mathématiques; ils nous ont donné également des renseignements précieux sur le volume, le poids et la densité des astres. Mais, tout en appréciant la valeur de ces services, nous devons faire remarquer qu'ils n'ont qu'une importance relative. Ce qui importe surtout à la science, c'est de connaître la constitution physique des corps célestes pour la comparer à celle de la terre, et de préciser les causes de leurs mouvements et de l'influence qu'ils exercent les uns sur les autres.

Auguste Comte avait dit en 1842, dans son cours de *Philosophie positive*, en parlant des corps célestes : « Nous concevons la possibilité de déterminer leurs formes, leurs

distances, leurs grandeurs et mouvements, tandis que nous ne saurions jamais étudier par aucun moyen leur composition chimique et leur structure minéralogique. » Cependant, quelques années après, cette impossibilité avait disparu ; ce qui prouve combien sont illusoires les prétentions des philosophes, même positivistes, lorsqu'ils s'avisent d'imposer des bornes à la science.

En effet, l'*analyse spectrale* est venue, d'une manière inattendue, nous initier à la composition intime, si ce n'est des parties solides des astres, tout au moins des substances gazeuses dont ils sont entourés. Elle repose sur les principes suivants.

Tout le monde sait qu'un pinceau de lumière blanche, traversant un prisme sous une certaine incidence, se décompose en sept couleurs qui sont celles de l'arc-en-ciel. Or, tout corps, solide ou liquide, rendu incandescent, donne un spectre parfaitement continu, tandis que, s'il s'agit d'un gaz lumineux, il se trouve réduit à un certain nombre de raies brillantes plus ou moins larges occupant diverses places dans l'étendue du spectre ordinaire. Si on interpose cette matière gazeuse entre le prisme et un corps solide ou liquide incandescent, elle anéantit les parties des rayons colorés qu'elle peut émettre elle-même ; de sorte que sa présence se trahit par des raies obscures caractéristiques, qui apparaissent sur la continuité du spectre. Chaque corps porté à l'état gazeux et à l'incandescence, donne des raies brillantes dont le nombre, l'étendue et la situation lui sont spéciales, et les raies obscures correspondantes qu'il produit lorsqu'il est interposé, le caractérisent également. L'habileté des observateurs est devenue telle, que la présence de raies inconnues leur a fait conclure que le gaz soumit à l'examen contenait une substance jusque-là ignorée. C'est ainsi que l'analyse chimique a *pu* isoler de nouveaux métaux tels que le cœsium, le

rubidium, le thallium et le gallium sur les seules indications du spectroscope.

Ces principes une fois bien établis, on comprend combien a été féconde leur application à l'étude physique des corps célestes. De nombreuses raies obscures avaient été signalées depuis longtemps sur le spectre continu du soleil, sans qu'on ait pu en pénétrer la cause. Pour arriver à déterminer la composition de l'atmosphère solaire, il s'agissait donc de spécifier à quels corps ces raies appartiennent, travail long et difficile, surtout à cause de leur multiplicité. Cependant Kirchhoff et Bunsen, les véritables fondateurs de l'analyse spectrale, y ont découvert une dizaine de métaux parmi lesquels l'hydrogène figure en première ligne. Depuis, d'autres observateurs en ont encore allongé la liste; de plus, on a reconnu que certaines raies étaient dues à l'absorption des rayons par l'atmosphère terrestre; ce sont les raies dites telluriques.

L'application de la spectroscopie aux étoiles prétendues fixes a donné des résultats encore plus surprenants. Lorsqu'un corps lumineux s'éloigne de l'observateur, les raies obscures de son spectre s'inclinent vers la région du rouge, tandis que s'il se rapproche, elles tendent à se porter vers le violet. Cette particularité a permis de constater le mouvement des étoiles dans le sens des rayons, ce qui, vu la distance énorme de ces corps lumineux, eut été impossible autrement. C'est ainsi qu'on a reconnu que Sirius s'éloigne de nous de 32 kilomètres par seconde; il en est de même de Castor et d'autres, tandis que Pollux, Véga et Arcturus s'en rapprochent.

Enfin, le spectroscope a permis de reconnaître que les étoiles filantes, qui ne font que traverser les régions supérieures de notre atmosphère, sont formées de noyaux solides, incandescents, et ne doivent pas différer des aérolithes *qui tombent à la surface* du sol.

Dans ces dernières années, la photographie, appliquée aux observations astronomiques, est venue étendre encore le cercle de nos connaissances extra-terrestres. Cette application si ingénieuse de l'action chimique de la lumière est due, comme on sait, à deux savants français, Niepce de Saint-Victor et Daguerre, et, depuis leurs premières tentatives, elle a acquis une perfection vraiment extraordinaire. Son importance scientifique date surtout de l'emploi du gélatino-bromure comme surface sensible. L'image se produit instantanément; si bien que M. Janssen est parvenu à photographier, en été, la surface solaire, avec une impression d'une durée de trois millièmes de seconde et à obtenir ainsi tous les détails de sa structure apparente avec une netteté admirable.

Actuellement, on est en train de dresser une carte générale du monde stellaire à l'aide de la photographie. Pour cette opération si importante, l'appareil est adapté à un télescope mû en sens inverse de la rotation de la terre par un mouvement d'horlogerie parfaitement isochrone à cette rotation, si bien qu'on peut prolonger la pose indéfiniment. En la faisant durer une heure, on obtient des étoiles de quatorzième grandeur, ce qui devra porter le chiffre de l'ensemble à 15 millions environ. Ce nombre serait, paraît-il, doublé par les étoiles de quinzième et de seizième grandeur, si l'on maintenait un quart d'heure de plus la plaque sensible en position ; mais alors, l'image des plus grosses ou des moins éloignées, en s'irradiant, compromettrait le résultat général.

Un fait remarquable, c'est que la photographie décèle des corps célestes qu'il est impossible de percevoir avec les meilleurs télescopes. On pense que ces inconnus n'émettent que des rayons ultra-violets, incapables d'impressionner notre rétine, mais doués d'un pouvoir chimique *très prononcé.*

On photographie également les spectres de tous ces astres lumineux, de manière à permettre d'en étudier à loisir les raies obscures ; de telle sorte que bientôt on possédera des données précises sur les couches gazeuses qui les enveloppent.

On comprend facilement que l'expérimentation n'a qu'un rôle très restreint dans les études astronomiques. Cependant, ce sont les expériences faites sur les lumières artificielles, qui ont permis de tirer de l'analyse spectrale, appliquée à la lumière sidérale, les précieuses inductions que je viens de signaler.

Je dois mentionner également l'expérience de Plateau, à l'aide de laquelle ce physicien Gantois a cherché à reproduire artificiellement la formation du système solaire conformément à la théorie de Laplace. Il introduit une masse d'huile dans un mélange d'eau et d'alcool d'une densité absolument égale à la sienne. L'huile prend la forme d'une sphère ; alors, il la fixe sur une tige rigide, passant par son centre et dont les extrémités traversent les parois du vase avec un frottement doux, mais étanche. Si, l'appareil étant ainsi disposé, on communique à la tige rigide et, par conséquent, au globe d'huile qu'elle traverse, un mouvement rapide de rotation, on voit la sphère s'aplatir aux pôles, se gonfler à l'équateur, puis former une espèce de bourrelet annulaire et produire enfin un véritable anneau, qui se condense soudain en un ou plusieurs globules animés, pendant un certain temps, d'un mouvement propre de rotation et de circumduction autour du globe central. L'exposition de la théorie de Laplace nous permettra plus tard d'apprécier la valeur de cette expérience.

Géologie. — La connaissance de la surface de la terre n'a fait de réels progrès que depuis l'invention de la boussole, *qui remonte au treizième* siècle environ. Seule, elle

permit aux navigateurs de quitter les côtes et de s'aventurer en pleine mer. Mais son effet ne se fit bien sentir, au point de vue qui nous occupe, qu'à la fin du quinzième siècle et au commencement du seizième, par la découverte de l'Amérique et de la route des Indes par l'extrémité sud de l'Afrique. Cependant, la connaissance précise du contour des continents et des îles, a été surtout facilitée par la navigation à vapeur. Quant à la mesure exacte de leur surface, elle laisse encore beaucoup à désirer, même en Europe. On n'y parviendra que par des travaux géodésiques connus sous le nom de triangulation. Il en est de même de leur nivellement, qui n'est encore généralement qu'approximatif. On sait que c'est à l'aide du baromètre qu'on obtient la hauteur des reliefs du sol, par rapport au niveau général des océans.

Quoi qu'il en soit, la géographie a fait de grands progrès dans ces derniers temps. Il reste encore des lacunes au centre des continents, tels que l'Afrique, l'Australie, l'Asie et l'Amérique méridionale ; mais, malgré leur accès rendu difficile par les obstacles naturels et la résistance des populations qui les habitent, la hardiesse et le courage des nombreux explorateurs qui sillonnent actuellement ces contrées, permettent d'espérer que ces lacunes seront bientôt comblées. Les régions polaires paraissent seules, quant à présent, inaccessibles à l'homme.

Grâce encore à la navigation à vapeur et à l'invention d'instruments de sondage d'une grande puissance, les reliefs du fond des mers sont assez bien connus maintenant. On a même pu étudier la température des différentes couches liquides, la puissance et la direction des courants qui les agitent, la nature de la superficie du sol sous-marin ; on a ramené à la surface les animaux de toute espèce qui habitent les diverses profondeurs des océans, et limité l'*habitat des plantes* qui y végètent. L'exploration pourra peut-

être même se faire prochainement à l'aide de navires sous-marins guidés par la lumière électrique.

L'invention des aérostats, qui bientôt sans doute pourront être dirigés, a permis d'explorer l'atmosphère jusqu'à une hauteur de 8 000 mètres. De hardis aéronautes ont pu assister à la formation de tous les météores que les anciens attribuaient à des puissances occultes. Enfin, grâce au réseau télégraphique qui enveloppe notre globe et relie entre eux la multitude des observations, la météorologie est bien près de devenir une science exacte. Alors la prévision du temps ne sera plus cette utopie ridicule qui a fait la fortune des faiseurs d'almanach.

Je dois signaler, à propos de la météorologie, l'importante invention des appareils enregistreurs, soit électriques, soit simplement mécaniques, qui ont remplacé avec tant d'avantage l'attention, si facilement en défaut, des observateurs chargés de constater à certaines heures l'état des instruments. Dans les observations météorologiques, la direction des vents, leur intensité, l'état hygrométrique et électrique de l'atmosphère, le pouvoir photochimique et l'intensité de la lumière solaire, la pression atmosphérique et même la température se trouvent transcrits sur le papier, automatiquement et d'une manière continue, si bien qu'on n'a qu'à recueillir de temps à autre les données fournies par les appareils.

La croûte solide de la terre est le siège de mouvements de diverses natures. Les uns que l'on pourrait appeler séculaires, sont caractérisés par des affaissements et des exhaussements plus ou moins rapides. Jusqu'ici, les moyens de les constater sont assez restreints ; les lignes de rivages maritimes ont seules servi de points de repère. Quant aux variations du niveau des continents et spécialement de la hauteur des montagnes, bien qu'elles soient soupçonnées, elles n'*ont pas été l'objet de* recherches précises. Les mou-

vements brusques que l'on désigne sous le nom de tremblements de terre, sont mesurés à l'aide des *sismomètres* (σείσμος, tremblement de terre). Les plus anciens sont composés d'une cuve de mercure, exactement pleine, qui peut déverser son contenu à la moindre oscillation. Le poids du métal écoulé indique l'intensité des secousses. Aujourd'hui, on se sert plus généralement de pendules susceptibles d'osciller dans toutes les directions et dont la pointe, pénétrant légèrement dans une couche de sable, y trace des sillons dont la longueur et la direction indiquent celles des vibrations du sol. A l'observatoire du Vésuve, on se sert d'appareils enregistreurs qui suppriment l'intervention trop fréquente et souvent dangereuse de l'observateur.

Les divers moyens d'observations que je viens d'énumérer ont trait à l'état actuel de notre planète, à son mode de vivre, si je puis m'exprimer ainsi. Pour ce qui concerne sa vie passée, son histoire, on l'a cherchée dans les couches de terrain dont l'accès nous est possible. Cette étude a été favorisée par les bouleversements dont elles ont été le siège dans la série des âges, et qui ont amené à la surface des parties primitivement situées à une grande profondeur. Pour la plupart de ces terrains, on a reconnu leur disposition primitive par la direction des couches successivement stratifiées. Cependant, on ne serait pas parvenu à bien préciser la succession des phénomènes qui ont produit la constitution actuelle de la terre, si l'industrie minière, en prenant dans le courant de ce siècle un développement considérable, n'avait permis aux géologues de pénétrer à des profondeurs qui ont atteint sur certains points 1 000 ou 1 200 mètres. Les grandes tranchées et les tunnels nécessités par la création des lignes ferrées qui sillonnent toutes les contrées civilisées, ainsi que les sondages pratiqués pour les puits artésiens, sont venus compléter la connaissance des assises du globe, si ce n'est partout, tout au moins

dans les régions où la civilisation a pu pénétrer. On a profité de tous ces travaux pour constater la température et les indications magnétiques aux différentes profondeurs.

Les débris des êtres organisés, animaux ou végétaux, qu'on a rencontrés dans toutes ces fouilles, ont permis de reconnaître l'âge respectif des différents terrains, là où les bouleversements ont troublé leur superposition naturelle, comme aussi leur synchronisme dans les différentes contrées. C'est qu'en effet les espèces animales ou végétales ont présenté, comme nous le verrons en son lieu, des caractères spéciaux à chaque âge de la terre, caractères qui ont toujours été en se perfectionnant jusqu'à l'époque actuelle.

Les couches les plus anciennes, dépourvues de débris organiques et que l'on rencontre souvent à fleur du sol par suite de dénudations plus ou moins complètes, ont été très difficiles à classer. Il a fallu se baser sur leur structure et leur constitution chimique, ce qui présentait de grandes difficultés. En effet, toutes ces roches, en général d'une constitution cristalline, présentent une très grande dureté et sont composées d'éléments divers, intimement mélangés par fragments d'un très petit volume.

Pour l'analyse chimique, on est parvenu à isoler ces substances variées, en pulvérisant la masse et en mettant à profit leur différence de densité. Tantôt, on les a séparées mécaniquement en faisant passer un courant d'eau sur un plan incliné, préalablement recouvert dans sa partie supérieure d'une couche de la poudre à examiner. Les éléments, entraînés d'autant plus loin qu'ils étaient plus légers, se sont ainsi trouvés séparés suivant leur densité qui est en rapport avec leur composition chimique. D'autres observateurs, pour arriver à plus de précision, ont employé, *soit à chaud, soit* à froid, des solutions salines

à différents degrés de concentration, et, y versant la roche pulvérisée, ont recueilli les éléments qui, restant en suspension dans chacune d'elles, présentaient le même poids spécifique. On a aussi employé l'acide fluorhydrique qui dissout toutes les substances, mais d'une manière successive, si bien qu'en arrêtant l'opération à certains moments, chacune d'elles se trouve isolée.

La structure des roches a été étudiée à l'aide du microscope, instrument d'optique que nous décrirons plus loin. Pour procéder à cet examen, on a débité un fragment en lames très minces, usées à la meule. Mais dans cet état les parties constituantes étant à peu près également transparentes, beaucoup de détails échappaient; on s'est alors servi de la lumière polarisée qui, en s'éteignant sur certains points en raison de l'angle d'incidence par lequel elle traverse certains cristaux, produit des ombres qui permettent de mieux juger de la forme et de la position réciproque des différentes parties qui forment le minéral. On a ainsi reconnu que dans certaines roches les éléments juxta-posés étaient simplement agglutinés par une substance vitreuse amorphe; que d'autres avaient été formées d'abord de cristaux laissant entre eux des intervalles plus ou moins considérables, dans lesquels d'autres cristaux s'étaient successivement produits jusqu'à réplétion, et d'autant plus incomplets que l'espace libre se réduisait davantage. On y a trouvé diverses inclusions et notamment des gaz et des liquides dont on a pu reconnaître la nature. Quant aux terrains plus récents, presque tous formés de dépôts amorphes stratifiés et généralement homogènes, leur analyse chimique ne présentait pas de difficulté et leur structure n'avait pas d'importance.

De l'observation géologique, telle que je viens de l'exposer sommairement, on a tiré des inductions qui expliquent la nature et la succession des phénomènes qui ont

duit les couches accessibles. Pour contrôler ces inductions par des expériences, on pouvait supposer de prime ord qu'on se heurterait contre des difficultés insurmontables. Néanmoins, on y est parvenu dans une certaine esure; et c'est en France que ces essais ont eu le plus succès.

Ainsi MM. Fouqué et Michel Lévy ont réussi à reproduire le basalte, éjection volcanique d'une ancienne période géologique, et la lave des volcans, à l'aide de hautes températures habilement graduées. M. Daubrée, se servant de la puissante machine avec laquelle M. Tresca avait déterminé les conditions d'écoulement de divers corps solides, a montré qu'une compression latérale et prolongée était la cause de la structure feuilletée d'une foule de roches qui en dehors de ces conditions présentent un tout autre aspect; c'est ainsi qu'avec de l'argile ordinaire il a pu produire de véritables ardoises. De ses expériences, il résulte également que les dislocations des couches stratifiées, primitivement continues, ont été le plus souvent causées par des pressions latérales d'une grande puissance. James Hall, en Angleterre, à l'aide des actions combinées de l'eau, de la chaleur et de la pression, a transformé du carbonate de chaux en marbre, tel qu'on le rencontre partout où des conditions analogues ont dû se produire.

La théorie géologique que nous exposerons plus loin a donc été induite d'observations contrôlées par l'expérimentation.

Biologie. — La biologie, ou connaissance des êtres organisés, est, comme nous l'avons dit plus haut, le résultat de l'observation et de recherches expérimentales.

C'est dans l'étude des phénomènes vitaux que l'insuffisance des sens de l'homme, spécialement de la vision, s'est fait sentir d'une manière prononcée. Au

grès réels ne datent-ils que de l'invention du *microscope*, qui est venu permettre de se rendre compte de la composition intime des parties des êtres vivants et du rôle respectif des éléments primordiaux dont ils sont composés.

On peut dire que cet instrument a joué un rôle encore plus considérable que le télescope; il repose du reste sur le même principe. L'*objectif* donne une image réelle amplifiée des petits objets, image que l'*oculaire* agrandit encore. Dans le microscope l'image réelle est fournie par un système de lentilles de même nature.

Pour observer avec cet instrument les êtres organisés dits microscopiques, l'examen direct suffit le plus souvent. S'ils sont plus volumineux, on procède d'abord à une dissection méthodique, pratiquée à l'œil nu ou armé d'une loupe ordinaire; puis on prend un fragment de l'organe dont on veut connaître la structure, ou l'organe entier s'il est petit, et on le prépare soit par dissociation soit par coupe, pour le soumettre ensuite à l'examen microscopique.

Les dissociations des éléments anatomiques se font par écrasement ou par dilacération avec des aiguilles très fines. On exécute les coupes dans le sens voulu, à l'aide d'instruments tranchants spécialement disposés, de manière à débiter le corps ou l'organe à examiner, en lames minces et transparentes. S'il est suffisamment consistant, on les exécute à l'état frais; si au contraire les tissus sont d'une grande mollesse, il faut les durcir en les plongeant plus ou moins longtemps dans des réactifs qui n'en altèrent pas la structure. Coupes ou dissociations, préalablement placées entre deux lames de verre, sont ensuite introduites dans le champ du microscope.

On examine d'abord la préparation telle quelle; puis, *pour en faire* ressortir les différentes parties, on les sou-

met à des réactifs variés : les uns doivent colorer certains éléments et laisser les autres en clair, les autres détruisent ou rendent transparents ceux qui masquent les parties les plus délicates.

La découverte de ces réactifs est le résultat de tâtonnements et d'expériences nombreuses ; mais aujourd'hui l'arsenal de la technique microscopique est aussi complet que possible.

Pour les tissus d'une très grande dureté, comme les os, qu'on ne peut ramollir sans en altérer la structure, on les réduit en lames minces par le frottement comme nous avons vu pour les minéraux, après les avoir débités en tranches avec une scie très fine.

Toutes ces préparations peuvent être conservées entre la lame de verre porte-objet et la lamelle couvre-objet, après qu'elles ont été imbibées de térébenthine de Canada ou de toute autre substance inerte, transparente et inaltérable. Pour les mettre à l'abri de l'air et de tout déplacement, on lute la lamelle avec un ciment quelconque.

On a cherché à reproduire les préparations microscopiques par la photographie; mais les résultats obtenus laissent quelquefois à désirer. Du reste, la possibilité de les conserver indéfiniment enlève de l'importance à ces reproductions.

Dans ces derniers temps, la puissance des microscopes et la netteté des images qu'ils donnent, ont été poussées à un grand degré de perfection. C'est grâce à ces progrès qu'on est parvenu à découvrir, puis à étudier ces multitudes d'algues ou bactéries pathogènes, connues sous le nom impropre de microbes et dont la connaissance a révolutionné la médecine. En micrographie, l'unité métrique en usage est le millième de millimètre, représenté par la lettre grecque μ.

Aujourd'hui, *tous les genres*, sinon toutes les espèces,

des êtres organisés actuels nous sont connus, et l'on peut entrevoir le moment où leur anatomie macroscopique et microscopique ne laissera plus rien à désirer. Si leur physiologie n'est pas aussi avancée, on peut affirmer qu'en persistant dans la voie où ils sont engagés, les biologistes finiront par résoudre toutes les inconnues. C'est encore au microscope qu'on devra ce résultat, car il nous permet de surprendre les éléments anatomiques au milieu de leurs fonctions physiologiques.

Pour l'étude des mouvements des animaux et spécialement de ceux de la circulation, les appareils enregistreurs ont rendu de très grands services. La photographie, relativement à ceux de translation, a donné entre les mains de M. Marey, professeur au Collège de France, des résultats très remarquables et souvent inattendus.

Mais la méthode expérimentale, appliquée aux êtres organisés et contrôlée pour l'homme par l'anatomie et la physiologie pathologique, est la source principale de nos connaissances en biologie. En ce qui concerne les animaux, depuis Harvey jusqu'à Claude Bernard, le nombre des savants qui s'y sont illustrés est incalculable. Elle est connue, spécialement en dehors du monde de la science, sous le nom de méthode des vivisections.

Depuis une vingtaine d'années, elle a soulevé, dans un certain public, une foule de protestations qui indique combien, en général, on comprend mal l'importance de la science pour la conservation de l'espèce humaine. Je ne veux pas examiner si, derrière cette sensiblerie, ne se cachent pas des intérêts que compromet la découverte des vérités scientifiques, et si les véritables intéressés ne sont pas les partisans des vieilles doctrines philosophiques et religieuses qu'elle bat en brèche et démonétise tous les jours de plus en plus. Mais je veux faire voir combien *sont inconséquentes* les personnes qui, par un prétendu

mour de l'animalité, voudraient supprimer, à l'aide de ois sévèrement répressives, le seul moyen que possède 'homme, de sortir victorieux de la lutte pour l'existence, utte que l'avenir réserve encore plus terrible.

D'abord tous les êtres vivants, animaux et végétaux, depuis le plus petit jusqu'au plus grand, conspirent à sa perte, soit en s'adressant à sa personne même, qu'ils dévorent vivante en gros ou en détail, soit en lui disputant ceux d'entre eux dont il fait sa nourriture, ou qu'il utilise pour se mettre à l'abri des circonstances défavorables. Cette guerre acharnée, implacable, végétaux et animaux se la font entre eux également sans merci. Ainsi cette harmonie admirable de la nature, que la littérature sentimentale du dix-huitième siècle a célébrée en termes si pompeux, n'est qu'un carnage continuel que l'ignorance seule a fait méconnaître. Encore une de ces conceptions à priori que la méthode de Fr. Bacon a renversée.

Sous peine de disparaître, l'homme a dû prendre part à ces combats sanguinaires. Son histoire nous le montre, dès son apparition, entrant avec rage dans la mêlée générale. Parmi les débris amoncelés de sa cuisine primitive, nous voyons les animaux figurer en grande majorité, et, depuis les temps quaternaires jusqu'à notre époque, ces massacres se sont continués sans interruption.

Bien plus, seul ou presque seul de tous les mammifères, l'animal humain dévore son semblable. Dans tous les temps et dans tous les pays, l'anthropophagie a été observée, soit accidentellement, soit d'une manière continue. Le besoin d'aliment, la fureur guerrière et religieuse en sont ou en ont été les causes. L'anthropophagie prescrite par les religions, après avoir été effective, est devenue symbolique, comme chez les chrétiens qui dévorent leur Dieu, sous les espèces ou apparences du pain et *du vin, pour s'incorporer* ses vertus. Après l'anthropo-

phagie, est venue la vivisection humaine prescrite par la loi ou les divinités, et la trinité catholique s'y est distinguée. Les magistrats de l'ancien régime étaient les vivisecteurs de l'homme les plus acharnés et les plus endurcis. Nous nous étonnons des connaissances anatomiques des anciens Assyriens, dont les sculptures enrichissent nos musées; ils devaient cette science à l'habitude monstrueuse d'écorcher vifs leurs ennemis vaincus. Mais revenons à l'époque actuelle et aux animaux.

L'art culinaire est encore une vivisection continuelle des plus cruelles et des plus raffinées.

Voyez cette cuisinière, dont la sensible maîtresse a menacé de son parapluie M. Brown-Sequard en plein Collège de France, voyez-la cisailler d'une main malhabile le cou de cette volaille qu'elle ne parvient pas à tuer. Puis elle prend des écrevisses vivantes, leur arrache les entrailles et les fait cuire, encore pleines de vie, dans une eau acidulée, dont la température s'élève graduellement, et au milieu de laquelle elles se débattent, jusqu'à ce que mort s'ensuive.

Cette respectable dame, au cœur si tendre, lui recommande de n'acheter que des carpes et des anguilles vivantes, pour être sûre de leur fraîcheur et pour qu'elle puisse les écailler et les dépouiller toutes vives. Puis elle va chez son boucher lui faire des reproches sur la couleur rouge de la chair de son veau. Alors, ce digne commerçant, pour ne pas perdre une bonne cliente, suspend le malheureux animal à un crochet mal aiguisé qui lui déchire le jarret, puis, sans l'assommer au préalable comme il le faisait d'habitude, il lui pratique, à l'artère carotide une incision peu étendue, de manière à prolonger son agonie et lui faire perdre le plus de sang possible. Alors la cliente sensible est satisfaite, et, avant de manger la chair ·he du veau torturé à son intention, elle savoure des

huitres vivantes qu'elle arrache maladroitement à leur coquille, en leur faisant subir mille souffrances. Puis, pendant qu'elle digère béatement les mets délicats, résultats de vivisections qu'elle a ordonnées ou pratiquées elle-même, elle maudit M. Brown-Séquard et tous les vivisecteurs, souhaitant que les chiens qu'ils opèrent leur dévorent le visage.

Que dirai-je de cette gracieuse souveraine, qui, après s'être pâmée au récit des opérations faites sur un animal vivant par un de nos plus célèbres physiologistes, poussa l'autocrate, son époux, à une guerre, sa guerre à elle, dans laquelle périrent des centaines de mille hommes, au milieu des douleurs physiques et morales les plus atroces, laissant d'innombrables familles dans la misère et la désolation.

C'est en Angleterre, le pays du protestantisme étroit, que cette croisade contre les vivisecteurs a été menée avec le plus de vigueur. Parmi les sectes religieuses ou autres qui pullulent dans ce pays, celle des *végétariens* s'est montrée la plus ardente. Sa doctrine est une espèce de rénovation des dogmes pythagoriciens; elle a pour but de pousser l'homme à renoncer à toute nourriture animale et à ne vivre que de végétaux qui, suivant eux, ne souffrent pas lorsqu'on les mutile. Mais c'est une erreur; il est démontré aujourd'hui que les cellules végétales sont douées de sensibilité et de motilité comme celles des animaux.

Cette sensibilité, pour être renfermée dans les limites étroites d'une loge de cellulose, n'en est pas moins réelle; elle se manifeste par des mouvements quelquefois visibles extérieurement, comme dans la sensitive, et, sans prétendre que les plantes éprouvent des douleurs comparables à celles des animaux à système nerveux différencié, on *ne peut affirmer qu'elles* ne souffrent pas de

qu'on exerce sur elles. Les végétariens, pour être logiques, devraient donc se laisser mourir de faim.

Malgré cette opposition plus ou moins violente, la méthode expérimentale en biologie est bien définitivement établie, et les menées sourdes de l'obscurantisme ne prévaudront pas contre elle.

Dans ces dernières années, son importance s'est encore accrue par suite de la découverte de l'origine des êtres organisés, qui tous, comme nous le démontrerons plus tard, procèdent d'une cellule initiale par voie de transformations successives causées par l'action physico-chimique du milieu ambiant. Cette vérité scientifique, indiquée par Lamarck et développée par Darwin, Hœckel et une foule d'autres savants, a démontré la nécessité de l'étude biologique des animaux inférieurs pour la solution des problèmes que soulèvent les organismes compliqués comme celui de l'homme et des animaux qui s'en rapprochent. Comme le milieu marin est le point de départ de tout ce qui a vie sur la terre, pour faciliter cette étude, on a établi sur le littoral des mers un grand nombre de laboratoires, où les savants vont se livrer aux recherches expérimentales susceptibles d'éclairer les points encore obscurs de l'évolution des êtres. Là, les animaux sont recueillis dans des viviers et des aquariums spéciaux, où l'on peut suivre leur mode de reproduction, leur développement et observer une foule de phénomènes, qui, chez les êtres plus élevés, se passent dans la profondeur des organes.

La France compte cinq de ces établissements répartis sur les côtes de la Manche, de l'océan Atlantique et de la Méditerranée, et, malgré leur fondation récente, ils ont été déjà le théâtre de travaux d'une importance considérable. De plus, l'accès en étant facile aux touristes, chacun peut s'y rendre compte de la variété infinie de formes que le monde de la mer présente dans les différentes régions.

Les recherches de toute nature sur les cadavres humains sont une nécessité non seulement pour la connaissance des maladies, mais aussi pour l'étude des éléments anatomiques, qui, par leurs actions combinées, concourent à la production des phénomènes vitaux. Il n'est donc pas étonnant qu'à toutes les époques les partisans des causes surnaturelles aient proscrit ces recherches comme des profanations que la mort peut seule expier. Aujourd'hui, leur pouvoir étant singulièrement restreint, ils se contentent de susciter la formation d'associations, soi-disant humanitaires, contre les autopsies. Pour exciter le zèle, on met à profit une survivance de la croyance aux mânes, renforcée par le dogme catholique de la résurrection de la chair à la fin du monde.

Heureusement, la médecine étant une institution d'ordre social, les États veillent à ce qu'elle ne retombe pas dans l'empirisme grossier des premiers âges, et ils empêcheront que les tentatives de retour à l'usage suranné de la crémation, ne viennent mettre un nouvel obstacle au développement de la science. Le gouvernement de la République française, pour vaincre ces résistances, devrait faire enseigner dans les établissements universitaires que le respect des morts ne consiste pas à livrer leur cadavre intact à un four crématoire ou aux larves d'insectes qui, dans la terre, s'en disputeront les lambeaux, mais que le seul moyen d'honorer leur mémoire est de tirer des exemples qu'ils ont laissés, des inductions utiles pour se diriger dans la vie d'une manière conforme aux intérêts de l'humanité.

Pour réagir contre les associations auxquelles nous venons de faire allusion, il s'est créé récemment à Paris une *Société mutuelle d'autopsie* (1), dont tous les membres s'engagent, par testament, à livrer leur cadavre au laboratoire

(1) Les adhésions doivent être adressées au président actuel de la *Société, docteur Fauvelle, 11,* rue de Médicis.

de la Société d'anthropologie, pour qu'après l'autopsie, leur cerveau ou toute autre partie de leur corps puisse servir aux recherches scientifiques. Une loi récente facilite singulièrement ces dispositions testamentaires et en assure l'exécution, alors même que le décédé ne ferait pas partie de la Société en question.

Physique et Chimie. — La Physique et la Chimie, dont les applications constituent à elles seules la science entière, sont purement expérimentales. En effet, elles ont pour but la reproduction analytique de tous les phénomènes dont l'ensemble et la succession ont formé le monde. Elles étudient tous ces faits expérimentaux, les combinent de différentes manières, les comparent à des faits analogues observés dans l'univers, et en tirent des inductions sur la nature de ces derniers. En d'autres termes, elles étudient la matière en elle-même, en spécifient la constitution et les propriétés, de manière à expliquer la formation et l'évolution des corps célestes, de la terre en particulier et des êtres organisés qui la peuplent.

Ces sciences, malgré leur caractère abstrait, ont une utilité pratique immense; elles permettent à l'homme d'utiliser à son profit les propriétés de la matière, et, même dans certains cas, de modifier dans le même but les phénomènes naturels dont, sans cela, il pourrait être victime.

Théoriquement, comme nous le verrons par la suite, la Physique et la Chimie sont toute la science, et, dans leurs applications, elles constituent l'industrie tout entière et permettent ainsi à l'homme, qui les possède, de lutter victorieusement pour son existence. Par conséquent, dans toute instruction intelligemment conçue, elles devraient occuper le premier rang.

Il n'en est malheureusement pas ainsi. En France, comme dans tous les pays dits civilisés où les conceptions *erronées de l'univers* ont encore une influence prépondé-

rante, on les relègue au dernier rang. De plus, au lieu d'en montrer les résultats et de faire comprendre comment, par elles, on arrive à tout expliquer dans le monde sans l'intervention d'aucune puissance occulte, on n'expose aux jeunes gens, comme nous l'avons fait déjà remarquer, que la théorie des instruments à l'aide desquels on est parvenu à découvrir la vérité, et les calculs qui ont servi à la préciser.

C'est absolument comme si l'enseignement de la géographie était réduit à la description des appareils et à la reproduction des calculs qui ont permis aux géographes de profession de fixer le contour des continents et des îles, ainsi que les reliefs du sol.

Comme nous nous adressons à une classe de lecteurs, qui, précisément, ont été victimes de cet enseignement rendu systématiquement inutile et rebutant, nous nous garderons bien d'exposer ici la série des instruments et opérations au moyen desquels on a constitué les sciences dont nous parlons. S'ils veulent se remémorer la technique de la physique et de la chimie, qu'ils se reportent à leurs livres classiques, si toutefois, aussitôt bacheliers, ils ne se sont pas empressés de les vendre au bouquiniste, pour écarter de leurs yeux ces souvenirs des tortures intellectuelles qu'ils ont subies sans en entrevoir le but et l'utilité.

Nous nous contenterons de dire que tout cet arsenal, qui constitue ce qu'on appelle un cabinet de physique et de chimie, et dont la fabrication occupe aujourd'hui l'industrie dite des instruments de précision, est le résultat des recherches patientes et continues des savants qui, depuis deux ou trois siècles, ont consacré leur vie à préciser comment et pourquoi la matière a produit tous les phénomènes dont le monde est le résultat.

Ces instruments ont été inventés successivement, les uns *pour reproduire les faits* généraux ou particuliers, les

autres pour en tirer des conséquences directes ou éloignées. D'abord grossiers et incomplets, ils ont été graduellement perfectionnés et complétés par leurs inventeurs ou par ceux qui, plus tard, ont repris l'étude des mêmes questions.

L'histoire de chacun de ces instruments ou appareils serait excessivement intéressante, tant au point de vue de l'évolution de la science elle-même, qu'à celui du développement progressif de l'esprit humain. D'une manière générale, ils indiquent une netteté et une précision dans les idées, qui contrastent avec le caractère vague et confus des hommes qui, sous le nom prétentieux de philosophes, se sont occupés les premiers des mêmes questions, netteté et précision qui n'excluent pas la grandeur et l'étendue des vues, comme le prouve, du reste, l'importance des résultats obtenus.

La technique chimique exige surtout, de la part des opérateurs, des soins minutieux et une exactitude encore plus scrupuleuse, tant au point de vue de la nature et du nombre des substances employées, que des conditions particulières dans lesquelles on les fait réagir les unes sur les autres. L'exemple suivant en est une preuve des plus remarquables.

En 1875, M. Lecoq de Boisbaudran, étudiant le spectre de l'aluminium et celui de l'indium, métaux voisins du zinc, soupçonna qu'il existait une lacune dans la série des corps simples de cette famille, lacune située entre l'aluminium et l'indium. Le métal prévu devait donner des raies spéciales dans une certaine région du spectre. Comme ces métaux voisins se trouvent, en général, réunis dans la nature, le savant chimiste soumit à l'analyse spectrale, dont nous avons exposé plus haut les principes, divers minerais de zinc (blende, calamine, etc.). Après des essais *infructueux* dus aux quantités trop faibles de la matière

mise en expérience, il vit enfin apparaître les deux raies brillantes cherchées, juste aux places qu'il avait prévues. Un nouveau métal était découvert ; il le nomma *gallium*. Il s'agissait maintenant de l'extraire. Cette opération fut des plus pénibles et des plus compliquées. On le comprendra facilement, si l'on considère qu'il faut 430 kilogrammes de minerai pour obtenir 50 centigrammes (0,50) de gallium. Ce métal blanc, inaltérable à l'air, fond entre les doigts et s'échappe sous forme de gouttelettes semblables à celles du mercure ; son point de fusion est 29°,5. C'est à peine si, aujourd'hui, la quantité extraite s'élève en tout à 100 grammes tirés de 86000 kilogrammes de minerai.

Mais chose vraiment surprenante, à la même époque, à l'autre extrémité de l'Europe, à Saint-Pétersbourg, un chimiste russe, M. Mendeleef, classant les corps simples d'après leur poids atomique, constatait une lacune après l'aluminium et prévoyait l'existence du même gallium. Il eut même la hardiesse d'en calculer le poids atomique et d'en décrire les principales propriétés physiques et chimiques, qui furent en grande partie vérifiées par la découverte du chimiste français.

Telles sont les conséquences de la méthode expérimentale, inaugurée par Lavoisier, et les progrès immenses qu'elle a pu produire en un siècle.

CONCLUSION.

Des considérations générales qui précèdent, il résulte :

1° Que le but de la science est la connaissance exacte de l'univers ;

2° Que cette connaissance est indispensable à l'homme dans sa lutte pour l'existence ;

3° Que *pour acquérir la science*, la seule méthode cer-

taine consiste à observer les phénomènes, à contrôler leurs observations par des expérimentations susceptibles de les reproduire aussi exactement que possible, et à tirer des résultats obtenus les inductions qui en découlent naturellement;

4° Que chaque fois que l'homme s'est écarté de cette méthode, il est tombé dans l'erreur et la superstition;

5° Que tous les moyens d'observer et d'expérimenter étant d'ordre physico-chimique, il est permis d'induire qu'il en est de même de tous les phénomènes dont la connaissance et les enchaînements sont le but de la science.

C'est précisément ce qui résultera de l'ensemble de cet ouvrage.

LIVRE PREMIER

LES PHÉNOMÈNES PHYSICO-CHIMIQUES CONSIDÉRÉS EN EUX-MÊMES

La science physico-chimique étudie les phénomènes naturels en eux-mêmes, abstraction faite des résultats qu'ils ont produits en constituant l'*Univers* tel que nous l'observons.

CHAPITRE PREMIER

MATÉRIAUX QUI ENTRENT DANS LA CONSTITUTION DE L'UNIVERS

Les recherches consciencieuses des savants qui ont su se dépouiller de toute espèce d'idées préconçues, ne leur ont permis de reconnaître dans tout l'univers rien autre chose que deux substances : la Matière et l'Ether.

§ 1. LA MATIÈRE PONDÉRABLE.

Atomes et molécules : leur mouvement de translation, leurs vibrations. Attraction : pesanteur, cohésion, poids anatomique. Affinité : dissolution, combinaison, atomicité, affinité des composés organiques. Transformations des atomes.

Tous les corps qui impressionnent directement ou indirectement nos sens sont constitués par la matière.

La chimie expérimentale nous permet d'induire que tous les corps sont *composés* de particules définies, les

unes simples et les autres résultant de la fusion d'un certain nombre des premières. Ce sont les *atomes* et les *molécules*.

On a avancé que les atomes étaient eux-mêmes constitués de particules plus petites encore, toutes semblables entre elles. Bien des faits viennent à l'appui de cette hypothèse ; mais, lorsqu'on affirme que les différences qui existent entre les atomes dépendent du nombre de particules primaires qui les composent, on exprime une simple vue de l'esprit que, jusqu'ici, l'observation et l'expérimentation n'ont pas confirmée.

La structure des atomes et des molécules est encore peu connue ; cependant tout porte à croire qu'ils ne forment pas une masse compacte, insécable, sans cela leur fusion entre eux serait impossible, mais qu'ils sont constitués par une réunion d'éléments mobiles, agglomérés, suivant le physicien anglais W. Thompson, par un mouvement tourbillonnant. Ils seraient par conséquent perméables, contractiles et élastiques, qualités que l'observation et l'expérimentation rendent très probables, comme nous le verrons par la suite à propos de l'électricité en particulier.

Ces particules sont d'une petitesse extrême. Pour que nous puissions les voir, il faudrait que nos microscopes, qui permettent d'examiner et de décrire des corps de moins de 1 millième de millimètre, atteignissent une puissance de 250 à 2500 fois plus grande. En effet, par différents calculs, qui ne peuvent trouver place ici, on est arrivé à fixer approximativement leur diamètre, qui ne saurait être sensiblement supérieur à 1 millionième de millimètre, ni inférieur à 1 dix-millionième (1).

(1) Ces chiffres et ceux qui vont suivre sont tirés du livre du commandant d'artillerie Jouffret, *Introduction à la théorie de l'énergie*, chez Gauthier-Villars, 1883.

Les atomes et molécules sont animés d'un mouvement de translation dans toutes les directions, qui constitue la tension des gaz, c'est-à-dire la pression qu'ils exercent sur les parois des cavités qui les contiennent. A la température de 0 degré et à la pression ordinaire de 76 centimètres, les atomes d'hydrogène parcourent 1 640 mètres par seconde, ceux de l'oxygène, 425 mètres, de l'azote, 453 mètres, et les molécules de la vapeur d'eau, 566 mètres. Mais, comme 1 centimètre cube de gaz contient un nombre de ces atomes et molécules qui se compte par trillions et peut aller jusqu'à 20, ils s'entre-choquent continuellement, et leur libre parcours est très restreint. Les calculs donnent, pour l'hydrogène, 9 480 millions de chocs en une seconde avec un libre parcours de 1 855 cent-millioniėmes de centimètre, dans les conditions de température et de pression indiquées plus haut. Sous le récipient d'une bonne machine pneumatique ordinaire, lorsque le vide a atteint son extrême limite, ces chiffres sont réduits au cent millième, ce qui donne un libre parcours de 1 centimètre environ. Le physicien anglais Crookes ayant obtenu des vides de un millionième de millimètre d'atmosphère, dans ses appareils le nombre des chocs devient si restreint que le libre parcours des molécules et atomes peut être mesuré directement, et leur mouvement de translation dirigé à volonté, comme nous le verrons à propos de l'électricité.

Dans les liquides, le mouvement de ces particules se réduit à des glissements les unes sur les autres, et leur écartement se réduit à des dix-millioniėmes de millimètre, tandis que dans les gaz il n'est que de 3 et 4 millioniėmes. Néanmoins, dans les liquides comme dans les gaz, les mélanges ont lieu sous l'influence des mouvements de translation des atomes ou molécules, avec cette seule différence *que tous les gaz, quels* qu'ils soient, peuvent se

mélanger, tandis que, pour les liquides, cette propriété se trouve réduite pour des motifs que ce qui va suivre fera comprendre.

Dans les solides qui contiennent un nombre d'éléments égal à l'unité suivi de 21 zéros par millimètre cube, leur mouvement de translation se trouve supprimé. Leur immobilité n'est cependant pas complète, car on les voit souvent changer spontanément de direction au point de modifier la structure et l'aspect des corps.

Les atomes ou molécules des solides se disposent les uns vis-à-vis des autres de différentes manières. Dans les corps amorphes, cette disposition ne présente aucune régularité ; il n'en est pas de même pour les cristaux. Lorsqu'un solide se forme au milieu d'un liquide dans des conditions de tranquillité voulue, ses atomes ou molécules se disposent de manière à lui donner une forme cristalline particulière, en rapport avec la nature du solide, sans que cependant on puisse en tirer des indications sur la forme de ces éléments. En effet, il est des solides qui, comme le soufre, peuvent, suivant les conditions de leur formation, donner deux sortes de cristaux bien distincts, celle en octaèdre et celle en prisme oblique, par exemple. C'est alors que l'on voit se produire ce mouvement atomique spontané que je signalais tout à l'heure, et qui transforme l'octaèdre en prisme, et réciproquement.

Ajoutons que c'est le mouvement spontané des atomes et molécules qui, dans les combinaisons chimiques, leur permet de se rechercher et de s'unir d'un manière rapide et complète.

Ce mouvement est seulement dirigé et activé par l'affinité dont nous allons parler dans un instant ; son action ne va pas au delà.

On a prétendu que les atomes et molécules des gaz, *sous l'influence* des chocs multiples qu'ils subissent dans

leurs mouvements désordonnés, se trouvaient animés d'un mouvement de rotation sur eux-mêmes, plus ou moins rapide ; mais aucune observation ou expérience n'est venue confirmer cette opinion, et on ne peut y rattacher aucun des phénomènes présentés par la matière.

Il n'en est pas de même du mouvement vibratoire ou d'oscillation sur place ; celui-là est bien réel. Nous en parlerons en détail à propos des phénomènes lumineux dont ils sont la cause.

Ces mouvements de translation et d'oscillation des particules élémentaires des corps leur sont personnels ; n'y en eût-il qu'un seul, il vibrerait et se transporterait dans l'espace. Il en est d'autres qui sont relatifs, et par lesquels ces particules tendent à se rapprocher les unes des autres. On les désigne sous le nom d'*attraction* et d'*affinité*.

L'attraction est une propriété générale de la matière par laquelle ses atomes ou molécules tendent à se grouper en masses plus ou moins volumineuses et de forme sphérique. C'est sous son influence que se sont formés tous les corps célestes. L'intensité de ce mouvement de rapprochement est en raison directe des masses, c'est-à-dire du nombre des éléments déjà groupés, et en raison inverse du carré des distances qui les séparent ; ce qui s'explique tout naturellement. On a donné à l'attraction, suivant les circonstances, les noms de *pesanteur* et de *cohésion*.

La pesanteur est l'attraction qui maintient tout corps au contact de l'astre à la surface duquel il est placé, et qui le précipite sur lui, s'il en est à quelque distance. On la mesure par l'effort nécessaire pour l'en séparer.

La cohésion est l'attraction qui maintient en contact un certain nombre d'atomes ou de molécules, de manière à en former les corps que nous observons à la surface de la terre. Elle est sans cesse contrariée par la pesanteur ; en effet, si *son intensité est faible*, les corps s'étalent en

nappes d'une étendue inversement proportionnelle à cette intensité. Ce qui prouve que la cohésion est bien une forme de l'attraction, c'est que tout corps liquide ou gazeux prend une forme sphérique, lorsqu'on le place dans un milieu mobile avec lequel il ne se mélange pas ; les plus grosses sphères attirant les plus petites, et ayant tendance à se les incorporer, absolument comme s'il s'agissait de corps célestes. La cohésion rend les corps plus ou moins durs, malléables et ductiles. Elle se mesure par l'effort nécessaire pour séparer les atomes ou molécules agglomérés.

L'affinité est une propriété générale de la matière, par laquelle des atomes de différentes natures tendent à se fusionner en molécules, et des molécules, également différentes, se réunissent en molécules plus complexes.

L'affinité et l'attraction sont sans cesse en lutte. Les dissolutions et combinaisons sont d'autant plus difficiles que la première est plus faible et la seconde plus intense. Pour favoriser l'affinité, il faut donc diminuer l'attraction, et réciproquement pour favoriser l'attraction, il faut diminuer l'affinité. C'est précisément ce que font continuellement les chimistes, lorsqu'ils combinent ou décombinent les atomes et molécules. Nous verrons plus loin que tous les phénomènes naturels concourent alternativement à ces deux résultats.

Comme nous l'avons indiqué précédemment à différentes reprises, les atomes diffèrent de nature. On en compte aujourd'hui soixante-six espèces qui constituent autant de corps simples. Les molécules qui proviennent de l'union de deux ou de plusieurs de ces atomes, diffèrent également entre elles ; quant à leur nombre, il est si considérable, que je ne pense pas qu'on ait jamais tenté de le calculer. Du reste, toutes ne sont pas connues, et il doit *en être de* même pour les atomes.

Ces diverses particules élémentaires des corps diffèrent entre elles par des nuances qui portent sur les propriétés que nous venons d'énumérer. La vitesse de translation varie avec chacune d'elles, comme nous l'avons vu pour l'hydrogène, l'oxygène et la vapeur d'eau. Le nombre et l'amplitude de leurs vibrations, en un temps donné, varient également. C'est précisément sur cette dernière différence que repose l'analyse spectrale que nous avons exposée dans l'introduction. On le comprendra encore mieux quand nous aurons développé la théorie de la lumière.

Les atomes et les molécules n'obéissent pas de la même manière à l'attraction. Leur pesanteur respective varie donc beaucoup. On a calculé le poids réel de quelques-uns. Ainsi, il faut 140 trillions d'atomes d'hydrogène pour faire un milligramme, et seulement 10 trillions de ceux du mélange atmosphérique d'azote et d'oxygène; les atomes de ces deux corps sont donc beaucoup plus lourds, pris isolément, que celui de l'hydrogène. Mais ce genre de calculs est hérissé de difficultés et, par conséquent, sujet à des erreurs. Heureusement, on est parvenu indirectement à établir le poids atomique de la plupart des corps simples ou composés de la manière suivante.

Gay-Lussac a fait voir que lorsque des corps gazeux se combinent entre eux, ces combinaisons se font toujours selon des rapports simples en volume. De plus, d'après Avogrado et Ampère, les distances qui séparent les particules intégrantes des gaz, dépendant uniquement de la chaleur et de la pression à laquelle ces gaz sont soumis; le nombre de ces particules doit être toujours le même à une température et à une pression données. De ces deux propositions on a conclu que, dans ces conditions, le poids d'un volume d'un gaz doit être proportionnel au poids d'un des atomes ou molécules qui le constituent. Pour avoir le poids d'un atome, *il ne s'agissait donc plus* que de trouver une unité

conventionnelle qui puisse servir pour les calculs. C'est le poids de l'hydrogène, le plus léger de tous les gaz, que l'on a choisi. Ainsi, le poids atomique de l'hydrogène étant 1, celui de l'oxygène est 16, parce que, en comparant, à la même température et à la même pression, deux mêmes volumes de ces gaz, celui de l'oxygène pèse seize fois plus que celui de l'hydrogène. Il résulte également de ces découvertes que le poids d'une molécule doit être égal à la somme des poids des atomes qui la constitue ; c'est, en effet, ce que l'expérience a démontré. Ainsi, la molécule d'eau, qui pèse dix-huit fois l'atome d'hydrogène, est composée d'un atome d'oxygène et de deux d'hydrogène : $16+1+1=18$. On la représente par H^2O, H et O étant les notations ou signes conventionnels de ces deux gaz.

Si la pesanteur varie suivant la nature des atomes, il doit en être de même de la cohésion. Mais, pour la mesurer exactement, il faudrait ramener tous les corps à un état solide aussi identique que possible, ce qui est absolument impossible. Dans la pratique, on se contente de l'apprécier sous le nom de ténacité, lorsque c'est utile et possible. Les qualificatifs dur, mou, malléable et ductile, servent à en caractériser les nuances.

Les différences entre les atomes ou molécules, relativement à l'affinité, sont très considérables. Elles ont été étudiées d'une manière toute particulière, puisque cette étude est le but spécial de la chimie.

On distingue trois degrés dans les résultats produits par l'affinité : 1° le mélange où les corps composants conservent tous leurs caractères ; 2° la combinaison dans laquelle ces caractères sont peu ou pas atténués ; 3° la combinaison où ils disparaissent entièrement. C'est l'état liquide qui favorise surtout la production de ces résultats ; mais il existe entre eux une foule de nuances qui dépendent de l'affinité *des composants* les uns pour les autres.

La molécule d'eau formée de deux atomes d'hydrogène et d'un d'oxygène est un exemple du troisième degré. Pour le deuxième degré, on peut citer l'ammoniaque ou l'acide sulfurique, dont chaque molécule s'unit avec une molécule d'eau d'une manière très intime, sans cependant perdre ses propriétés fondamentales. Enfin, les dissolutions représentent le degré le plus faible de l'affinité. La solubilité des corps varie non seulement suivant leur nature, mais suivant celle du dissolvant. Même lorsqu'il y a simple mélange, les différences peuvent être considérables. Le chlorure de calcium se dissout dans l'eau en toutes proportions pour ainsi dire, tandis que le sulfate de baryte est absolument insoluble. Généralement, l'élévation de la température, en diminuant la cohésion, facilite les dissolutions. Toutes les considérations qui précèdent s'appliquent parfaitement aux alliages des métaux et aux amalgames, qui, pour se produire, ont toujours besoin que l'un des deux corps soit liquide.

Relativement à l'union des atomes de différentes natures ou combinaisons chimiques, il est certains de ces éléments qui se précipitent les uns sur les autres avec une extrême violence, et d'autres qui, dans les mêmes conditions, peuvent rester indéfiniment en présence sans se combiner : tels sont l'azote et l'oxygène de l'atmosphère. La séparation des atomes et molécules combinés présente d'autant plus de difficulté que leur union a été plus facile. Ainsi la difficulté de l'analyse est en raison directe de la facilité de la synthèse.

Pour former des molécules, les atomes se combinent entre eux en différentes proportions, c'est-à-dire qu'une molécule donnée peut contenir un, deux, trois, quatre, etc., atomes d'un corps, combinés avec un nombre quelconque d'atomes d'un ou plusieurs autres corps. Il en est de même des *molécules ; mais d'une* manière générale, plus une

molécule est complexe, moins elle a de tendance à former de nouvelles combinaisons.

On donne le nom d'*atomicité* à l'aptitude que présente un atome ou une molécule à se combiner à un nombre plus ou moins considérable d'autres atomes ou molécules pour se *saturer*. Ainsi, l'atome de chlore se sature avec un seul atome ou une seule molécule, l'oxygène avec deux, l'azote avec trois et le carbone avec quatre; ce qui veut dire, par exemple, que tant qu'un atome de carbone ne sera pas combiné avec quatre atomes ou molécules, il pourra en acquérir davantage. L'atomicité varie avec la température et la pression; aussi, quand on spécifie l'atomicité d'un corps, il est toujours sous-entendu : à la pression et à la température ordinaires. Lorsque deux corps polyatomiques se combinent, ils se saturent en raison de leur atomicité. Ainsi, le carbone *tétratomique* est saturé par deux atomes d'oxygène qui est diatomique : oxyde de carbone CO, pas de saturation; acide carbonique CO^2, oxychlorure de carbone $COCl^2$, saturation. Ce sont des combinaisons de *premier ordre*.

Les combinaisons de *second ordre* sont celles dans lesquelles une ou plusieurs molécules s'unissent à des atomes ou à des molécules. Ainsi, l'azote triatomique s'unit à trois atomes d'hydrogène pour former l'ammoniaque AzH^3 monoatomique. Elle est saturée par une molécule d'acide chlorhydrique HCl, et forme le chlorhydrate d'ammoniaque AzH^3,HCl. Deux atomes de celui-ci peuvent s'unir au tetrachlorure de platine $PtCl^4$ pour former une combinaison de *troisième ordre*. Sans les données précises de l'atomicité, on écrirait ce dernier corps avec la notation suivante : $Az^2H^8Cl^6Pt$, ce qui serait un non-sens. Il faut écrire $(AzH^3,HCl)^2\ PtCl^4$.

L'atomicité, très simple en général en chimie minérale, se complique dans les composés organiques, par

suite de la grande atomicité du carbone qui en fait la base, et de la propriété qu'ont ses atomes de se saturer eux-mêmes en partie lorsqu'ils sont réunis en un certain nombre, comme c'est le cas le plus ordinaire. Ainsi, dans l'*hydrure d'éthyle* ou *deutane* C^2H^6, six atomes d'hydrogène monoatomique suffisent à saturer deux atomes de carbone tétratomique, parce que ceux-ci se saturent en partie l'un l'autre, tandis que dans le gaz des marais CH^4, il en faut quatre pour un.

C'est grâce à l'atomicité qu'on est arrivé à débrouiller en grande partie le chaos de toutes ces combinaisons si complexes qui se succèdent et s'engendrent dans les corps organisés; la puissante atomicité du carbone en est la cause principale. Quant à la structure des molécules qui composent ces corps, on a émis des hypothèses au sujet desquelles nous sommes forcé de renvoyer aux ouvrages spéciaux (1). Du reste, le dernier mot n'est pas encore dit au sujet de l'atomicité; il reste encore bien des points obscurs à élucider.

Longtemps on a cru que les atomes des corps simples étaient toujours isolés les uns des autres, que les corps auxquels ils appartiennent soient gazeux, liquides ou solides; il n'en est rien. Déjà nous avons vu que l'affinité des atomes de carbone était en partie saturée par des atomes de même nature dans les corps qui en contiennent plusieurs. Ce n'est pas un fait isolé : on a démontré que les dernières particules d'un grand nombre de corps simples à l'état gazeux n'étaient pas des atomes, mais bien des molécules composées de deux, trois, quatre et même six atomes. Cette démonstration découle de ce fait que la densité de deux gaz doit être proportionnelle au poids de leurs dernières particules. Ainsi la densité de la vap er

(1) Voir le *Cours de chimie* de M. le professeur Armand Gautier; *Savy, 1887.*

d'eau est à celle du gaz oxygène, comme son poids atomique est au double du poids atomique de ce gaz : 0,622 : 1,056 : : 18 : 16 × 2. L'oxygène de l'air est donc formé de molécules composées de deux atomes. Quand il est à l'état d'ozone, elles en contiennent trois. Les éléments des vapeurs de phosphore et d'arsenic sont tétratomiques. La vapeur du soufre à 500 degrés présente six atomes fusionnés en une seule molécule ; si l'on porte la température à 1 000 degrés, cette molécule exatomique se divise en trois molécules diatomiques. La chaleur produit le même effet sur l'ozone, qu'elle ramène à l'état d'oxygène diatomique. On n'est pas encore parvenu à réduire les molécules tétratomiques du phosphore et de l'arsenic. Celles de la vapeur du mercure, du cadmium et du zinc sont monoatomiques. En somme, cette juxtaposition d'atomes paraît un reste de cohésion ; ce serait une espèce de passage entre l'attraction et l'affinité.

Enfin, il est une sorte d'affinité sur laquelle l'attention des chimistes ne s'est pas encore portée d'une manière spéciale. C'est celle qui tend à rapprocher certains composés organiques pour en former de petits corps particuliers. Telles sont, par exemple, les cellules des animaux et des végétaux. Ainsi, il est certain qu'un individu monocellulaire, végétal ou animal, contient réunies intimement, mais non fusionnées, les substances nerveuses, contractiles et autres, qui se montrent plus ou moins séparées, chez les animaux supérieurs, en cellules nerveuses, musculaires, sécrétrices et connectives. Cette union, qui se fait spontanément, est certainement due à l'affinité qui existe entre ces substances. Et chose remarquable, leur masse commune ne peut dépasser un certain volume ; au delà, le centre attractif, qui les maintient sous la forme d'un globe microscopique, devient insuffisant. Alors, *elles se divisent* en deux parties égales, et il se produit

deux nouveaux centres d'attraction qui entraînent chacun une moitié des substances composantes. Nous reviendrons sur cette question en traitant des êtres organisés.

Les différences que nous venons de signaler entre les atomes des corps simples, au sujet de la rapidité de leur mouvement de translation, du nombre et de l'amplitude de leurs vibrations en une seconde, de leur puissance attractive (poids atomique) et de leur affinité les uns pour les autres, ne sont pas tellement considérables qu'il ne puisse exister entre eux certaines relations. En effet, plusieurs chimistes éminents ont cherché à les grouper : J.-B. Dumas, d'après l'affinité chimique ; M. Lecoq de Boisbaudran, d'après le nombre et l'amplitude des vibrations ; M. Mendeleef, d'après le poids atomique. Les tentatives de ces savants n'ont pas été vaines, puisque les deux derniers ont signalé simultanément, dans un certain groupe, une lacune qui a été comblée par le gallium (voir page 60). Il est donc bien établi que les corps simples peuvent être classés d'après des analogies qui établissent entre eux des relations de parenté, de famille. Or, qui dit parenté, famille, fait allusion à une origine commune. Chaque groupe descendrait donc d'un atome ancêtre que des circonstances particulières auraient graduellement modifié, de manière à produire un certain nombre d'individus distincts, tels que ceux que nous observons aujourd'hui. D'autre part, ces groupes ne sont pas parfaitement séparés ; il y a, sur chaque limite, des corps qui participent des caractères des groupes voisins. Ces espèces de familles ne seraient donc pas absolument étrangères les unes aux autres ; mais présenteraient des signes d'une parenté plus ou moins éloignée. On serait, par conséquent, autorisé à conclure que tous les atomes des corps simples procéderaient d'un atome unique. En d'autres *termes, il y aurait eu une époque* où la matière n'aurait

pas été différenciée, et où tous les atomes auraient été semblables.

Je ne veux pas insister sur cette hypothèse hardie; mais je ferai remarquer que la doctrine de l'évolution des êtres organisés, aujourd'hui démontrée, repose sur les mêmes bases. (Voir livre II, chapitre III.)

Quoi qu'il en soit, les propriétés individuelles et relatives des atomes, sur lesquelles nous venons de nous étendre, indiquent par leurs variations qu'elles ne sont pas absolues, c'est-à-dire qu'elles peuvent être modifiées par les circonstances. Ce sont ces circonstances qu'il s'agirait maintenant de rechercher. Mais les difficultés seront grandes, tant qu'on n'aura pas pu observer directement les atomes à l'aide du microscope, comme on l'a fait pour les éléments anatomiques, qui sont aux êtres organisés ce que les atomes sont aux corps simples. Sans aucun doute, les générations futures y parviendront.

« Nécessité, l'ingénieuse, leur *fournira* une invention.»

§ 2. L'ÉTHER, OU MATIÈRE IMPONDÉRABLE.

L'éther est une substance qui remplit les espaces intersidéraux et qui pénètre dans tous les intervalles des atomes ou molécules des corps. Si, comme on est forcé de l'admettre, ces particules élémentaires sont formées par l'agrégation de particules encore plus tenues, elle doit entrer en outre pour une certaine part dans leur constitution.

L'éther est-il amorphe, c'est-à-dire continu, ou bien formé d'éléments d'une forme sphéroïdale ou autre? On l'ignore. Toujours est-il qu'il transmet les vibrations des atomes et molécules, et qu'il se déplace lorsqu'ils se rapprochent ou s'éloignent les uns des autres. Certaines des vibrations transmises par lui impressionnent notre rétine et nous donnent la sensation de lumière; nous avons

celle de la chaleur, lorsque, par ses déplacements, il pénètre en plus grande abondance entre les molécules des nerfs de la peau. Son existence ne peut donc être mise en doute.

Ce qui fait qu'elle a été longtemps niée, c'est que l'éther n'obéit pas à l'action de la pesanteur. Nous avons peine à concevoir une substance qui soit absolument soustraite à cette action. Mais, en faisant abstraction de notre personnalité, nous pouvons comprendre que cette substance puisse ne pas être sollicitée par l'attraction. Dans ces conditions, elle doit être d'une mobilité extrême et pouvoir se déplacer pour laisser passer la matière pesante sans lui opposer le moindre obstacle. C'est ainsi que les corps célestes peuvent voyager dans l'espace sans que leurs mouvements soient le moins du monde entravé par l'éther. Mais s'il est impondérable, il ne s'ensuit pas qu'il ne tienne pas de place et ne puisse, sinon résister complètement à l'attraction et à l'affinité qui tendent à rapprocher les éléments de la matière, tout au moins être déplacé par ces mouvements et aller occuper un autre point plus libre de l'espace. Nous verrons par la suite que cette véritable force d'inertie joue un rôle considérable dans les manifestations de l'activité des atomes agglomérés. Les détails dans lesquels nous devons entrer compléteront ces données sommaires.

En somme, l'éther n'est pas une substance hypothétique ; il existe bien réellement et doit être regardé comme un des matériaux qui constituent l'univers. C'est en réalité une matière impondérable.

CHAPITRE II.

EFFETS DE L'ACTION COMBINÉE DE LA MATIÈRE ET DE L'ÉTHER.

Comme nous venons de le voir, des deux sortes de matériaux dont l'univers est constitué, la matière pondérable seule est douée de mouvements spontanés. Ces mouvements des particules de la matière réagissent d'abord sur l'éther qui les baigne; puis, comme leur intensité varie beaucoup suivant certaines circonstances, par son entremise ils se modifient les uns les autres, et donnent naissance à une foule de phénomènes dont la connaissance constitue la science physico-chimique (1). On les a groupés sous les noms de Lumière, Chaleur, Électricité, Magnétisme, auxquels il faut joindre la Nervosité, pour des motifs que j'exposerai plus loin.

Pour bien comprendre ce qui va suivre, il faut se persuader que tous les phénomènes physico-chimiques sont indépendants de nos sens, qu'ils existent en dehors de nous, et que, pour nous en rendre un compte exact, il faut faire abstraction de notre personnalité.

§ 1. LUMIÈRE.

Nous avons dit tout à l'heure que les atomes ou molécules des corps étaient animés d'un mouvement vibratoire

(1) On chercherait en vain dans les livres classiques, même les plus complets, les théories dont l'exposé va suivre. Seul, le *Traité élémentaire de physique* de Ganot, vingtième édition, par G. Maneuvrier, Hachette, 1887, en donne un aperçu sommaire au *paragraphe 21, p.* 15 et 16.

continu qu'ils transmettent à l'éther passif qui les baigne. Les microscopes n'étant pas encore assez puissants pour nous faire voir ces particules de la matière et la manière dont elles se comportent, nous ignorerions l'existence de ces vibrations, si celles qu'elles transmettent à l'éther n'affectaient pas nos sens d'une façon quelconque. C'est notre œil qui les perçoit, et nous appelons *lumière* l'impression qu'il ressent. Cet organe nous permet donc de constater l'existence des corps dont les atomes présentent des vibrations d'une certaine intensité. Mais les vibrations transmises à l'éther ne s'éteignent pas au contact des corps non lumineux ; elles sont réfléchies en tout ou en partie et viennent alors impressionner notre œil, si bien que nous pouvons voir tous les corps, pourvu qu'ils réfléchissent certaines de ces vibrations transmises. Il en est d'autres qui laissent passer, au travers de leurs intervalles moléculaires, les vibrations de l'éther sans les atténuer d'une manière prononcée. Ils sont appelés *diaphanes;* de telle sorte que nous ne nous apercevons de leur interposition que par l'affaiblissement de l'impression lumineuse et ses déviations.

Lorsque le corps diaphane affecte une forme prismatique, les vibrations, en le traversant, se séparent les unes des autres, et se rangent suivant leur degré d'intensité pour former le spectre ; c'est ce qui a permis d'en faire une étude complète et spécialement d'en mesurer la longueur et la rapidité.

Pour que nous les apercevions, il faut qu'elles ne soient pas inférieures au nombre de 484 trillions par seconde, avec une longueur de 620 millionièmes de millimètre ; alors nous voyons rouge. Il est également nécessaire que leur nombre ne dépasse pas 709 trillions par seconde, et que leur longueur ne soit pas moindre que 423 millioniémes *de millimètre, conditions* qui nous donnent la

sensation du violet. Entre ces limites extrêmes, nous percevons toutes les nuances de l'arc-en-ciel ; mais, en deçà et au delà, notre rétine n'en est plus affectée. Nous savons cependant qu'il en existe de plus rapides, et en même temps de plus courtes, par suite des modifications qu'elles produisent sur l'affinité de certains corps les uns pour les autres. On appelle ces vibrations ultra-violettes, rayons chimiques, erreur de langage, dernier vestige de l'ancienne théorie de l'émission d'un fluide lumineux, si malheureusement imposée au monde savant par l'autorité de Newton. Il est également certain qu'il en est de moins rapides et plus longues, car il est facile de comprendre que, quelle que soit la cause des vibrations lumineuses, elle ne prend pas les atomes ou molécules à l'état de repos pour les porter immédiatement à un autre état produisant par seconde 484 trillions de vibrations, longues chacune de 620 millionièmes de millimètre : mais nous n'en avons pas la preuve expérimentale.

Les vibrations sonores, dont la tonalité dépend également de leur nombre dans l'unité de temps, ne sont pas toutes perçues par l'organe de l'ouïe, et les limites de cette perception ont été spécifiées ; il n'en existe pas moins des vibrations sonores plus lentes et plus rapides, c'est-à-dire plus graves et plus aiguës. Elles doivent donc être considérées, comme les vibrations lumineuses, indépendamment de leur influence sur nos sens.

Cette analyse des vibrations lumineuses nous explique comment les corps non lumineux reflètent différentes couleurs ; ils éteignent les autres vibrations. Si ces diverses couleurs frappent en même temps la rétine (disque de Newton), celle-ci perçoit la lumière blanche, absolument comme après la reconstitution du rayon lumineux par un second prisme ou une lentille convergente.

Les vibrations lumineuses parcourent l'éther avec une

rapidité extrême qui atteint 308 000 kilomètres par seconde. Ceci n'est qu'une moyenne, car il se pourrait que les premières ondes soient plus rapides que les dernières. L'intensité de la lumière, à un point donné de son parcours, est en raison inverse de la distance qui sépare ce point de la source.

Pour que les vibrations lumineuses des atomes et molécules se produisent, il faut que les corps auxquels ils appartiennent présentent un certain degré de raréfaction qui varie suivant leur nature. Ainsi, le platine est encore très solide lorsque déjà il répand une lumière éblouissante, tandis que l'hydrogène ne nous apparaît lumineux que dans les gerbes immenses de son gaz, que l'agitation solaire projette dans un état de raréfaction extrême. La précocité de production des vibrations lumineuses paraît donc être en raison directe de la cohésion des atomes, autrement dit de leur puissance d'attraction.

Les vibrations normales des particules peuvent encore être activées, au point de donner des sensations de lumière sans raréfaction apparente du corps qu'elles forment; mais cette accélération paraît atteindre uniquement la couche moléculaire la plus superficielle. On a donné à ce phénomène le nom de *phosphorescence;* il paraît être également influencé par l'attraction, car on ne l'observe guère qu'à la surface des solides.

La phosphorescence peut être produite par l'action directe des atomes ou molécules vibrants; tel est l'effet du frottement, des brisures et des chocs. Le physicien anglais Crookes, dans ses tubes où le vide atteint un millionième de millimètre, a vu les atomes d'un gaz ainsi raréfié, dirigés sur des diamants, y développer par leur choc une lumière intense.

L'électricité et la nervosité, dont nous chercherons plus loin à *pénétrer l'essence, produisent* également ce phé-

nomène ; mais, comme on pouvait le supposer, la lumière en est la cause la plus fréquente. Elle agit avec d'autant plus d'énergie que les vibrations sont plus rapides et plus courtes, comme celles qui produisent la sensation du violet et les réactions chimiques, tandis que celles du rouge sont peu ou point actives.

On a comparé, à juste raison, la phosphorescence à la résonance que produisent les sons musicaux sur les cordes et tiges sonores. Les vibrations ainsi produites par l'entremise de l'air ou de l'éther ne sont pas toujours les mêmes que celles du corps producteur ; mais le nombre des vibrations secondaires est toujours en proportion de celui des primaires. En musique, on qualifie les premières du nom d'*harmoniques*.

Malgré la justesse de cette comparaison, il n'y a pas identité parfaite entre les ondes lumineuses et les ondes sonores, car ces dernières sont le résultat d'oscillations des corps en masse, et les autres sont produites par les vibrations particulières, mais simultanées, de leurs éléments ; les unes sont transmises par l'éther, et les autres ne peuvent avoir d'autre intermédiaire que la matière plus ou moins condensée.

Les vibrations dites lumineuses, transmises par l'éther, ne produisent pas seulement de nouvelles vibrations lumineuses, mais peuvent modifier les affinités chimiques Ainsi, les vibrations transmises réduisent certains oxydes métalliques et ceux de quelques métalloïdes. Par contre elles favorisent les combinaisons du chlore et de l'hydrogène et l'oxydation des matières organiques; cette dernière action est mise à profit pour le blanchiment de toiles écrues. Dans les plantes, ce double effet se produ simultanément, mais seulement en présence de la chlrophylle qui réfléchit uniquement la couleur verte ; l *autres vibrations* sont absorbées, et ce sont elles sa

doute qui favorisent l'action chimique. L'acide carbonique est décomposé et son carbone se combine aussitôt avec les éléments de l'eau pour former des hydrates de carbone, tels que l'amidon.

Ce sont les vibrations violettes et ultra qui modifient l'affinité avec le plus d'énergie, comme on l'observe pour la photographie ; les vibrations rouges sont impuissantes à produire le phénomène, mais peuvent le continuer, surtout en présence de matières organiques oxydables.

Tous ces faits qui, réunis, constituent la *Photochimie*, prouvent que la rapidité et la brièveté des vibrations des atomes ou molécules influent beaucoup sur leur affinité ; mais il reste à déterminer la nature de cette influence. On peut seulement induire aujourd'hui que l'affinité est, dans de certaines limites, sous la dépendance des vibrations des éléments de la matière.

Jusqu'ici rien n'autorise à penser que la lumière modifie le mouvement de translation des atomes, pas plus que l'attraction.

Lorsque les vibrations des atomes d'un corps commencent à s'activer au point de le rendre lumineux, ce sont les vibrations rouges qui graduellement apparaissent les premières, puis viennent successivement les teintes orange et jaune ; mais dès que l'influence du vert se fait sentir, nous percevons la lumière blanche. Cette progression est parfaitement conforme à la théorie du spectre. Elle démontre, en outre, que la production de la lumière blanche, que le prisme analyse est le résultat de l'action d'atomes vibrant avec des rapidités différentes. S'ils vibraient tous à l'unisson, la lumière serait ou rouge, ou jaune, ou verte, etc. Il n'est pas probable que les atomes, qui produisent les divers tons de la gamme chromatogène, soient toujours en nombre exactement proportionnels pour donner une lumière exactement blanche.

Telle est sans doute la cause des différences de teintes que présentent beaucoup de sources lumineuses. A ce point de vue, il y aurait intérêt à porter les recherches photométriques sur chacune des couleurs du spectre. On arriverait peut-être, à l'aide de ces expériences, à caractériser les corps qui émettent une lumière teintée, et compléter ainsi l'analyse spectrale sur laquelle nous avons encore à dire quelques mots.

Tous les corps solides et liquides, portés à l'incandescence, donnent un spectre continu ; leurs atomes produisent donc toute la série des vibrations colorées. Il n'en est pas de même de leurs gaz ; ceux-ci ne donnent qu'un certain nombre de vibrations. Ainsi, la vapeur incandescente du sodium ne donne qu'une double raie jaune très brillante ; les autres couleurs sont peu ou pas représentées. Le rouge et le violet caractérisent le potassium, etc. L'état gazeux entraîne donc la suppression d'un grand nombre de vibrations lumineuses, soit que la plupart des atomes ne produisent que des vibrations infrarouges ou ultra-violettes, soit qu'ils forment un certain nombre de groupes vibrant à l'unisson de telle ou telle couleur.

Quoi qu'il en soit, et c'est là l'important, ces raies colorées, plus ou moins intenses, caractérisent absolument les gaz qui les émettent. Si l'on élève la température des gaz incandescents, de nouvelles raies apparaissent, ce qui prouvent que de nouveaux atomes entrent en jeu, ou que les vibrations lumineuses de certains d'entre eux se modifient.

D'autre part, ces gaz, traversés par un pinceau de lumière à spectre continu, absorbent exactement toutes les vibrations qu'ils peuvent émettre eux-mêmes. Comment ces vibrations s'épuisent-elles? Aucune expérience n'est venue éclairer cette question ; mais, comme elle est secon-

daire au point de vue pratique, peut-être sera-t-on longtemps encore sans chercher à y répondre.

Ainsi, la lumière est le résultat produit par une série de vibrations des éléments de la matière sur l'éther qui les baigne, résultat qu'il transmet à d'autres éléments atomiques ou moléculaires.

§ 2. CHALEUR.

Cause des phénomènes calorifiques. — Thermodynamique. Thermochimie. — Réflexion et réfraction de la chaleur. Chaleur solaire.

La concomitance si fréquente des phénomènes calorifiques et lumineux, spécialement leur réunion dans le spectre solaire, a entraîné, surtout en France, les physiciens à regarder la chaleur comme également produite par les vibrations de l'éther. Mais cette théorie, accueillie surtout pour sa simplicité apparente, soulève les objections les plus graves.

Il est vrai que le spectre solaire présente sur certains points une élévation de température plus considérable et qu'on la constate également dans la région infra-rouge; mais il n'existe aucune proportion entre le nombre des vibrations et le pouvoir calorifique.

Il est vrai que le maximum de cette élévation de température se rencontre dans la région du rouge; mais, s'il était dû aux vibrations qui produisent cette impression sur notre œil, les corps qui ne reflètent que celles-là, seraient des foyers de chaleur. Or, l'observation et l'expérimentation montrent qu'il n'en est rien; les corps rouges ne nous chauffent pas plus que les violets.

Il est vrai que certains corps se laissent traverser par la lumière et la chaleur; mais il n'y a aucune proportionnalité entre *ces deux phénomènes*. Il y a des corps dia-

phanes qui sont en même temps athermanes, et ceux qui ne laissent passer que les vibrations rouges, ne sont pas traversés plus facilement par la chaleur. Enfin, les corps opaques, ou aphanes, donnent tous passage à la chaleur, quelle que soit leur épaisseur; c'est simplement une affaire de temps et d'intensité.

Il est encore vrai que les miroirs réfléchissent de la même manière la lumière et la chaleur; mais il en est de même pour le son et tout corps projeté. Dans les deux cas, les résultats sont semblables; seulement, le mécanisme de leur production diffère.

Enfin, l'interférence, phénomène caractéristique des vibrations lumineuses et sonores, comme aussi des ondulations des liquides, n'a jamais été observée pour les prétendues vibrations calorifiques. Cependant, il serait facile de constater l'abaissement de la température qui se produirait lors de la rencontre de celles qui émanent de deux sources de chaleur d'égale intensité.

Laissons donc là une théorie si mal étayée et voyons s'il n'est pas possible d'en induire une autre plus exacte des observations et expérimentations fournies par la science.

Tout phénomène calorifique s'accompagne d'un changement de volume des corps, changement que ne peuvent expliquer des vibrations atomiques ou moléculaires de quelques millionièmes de millimètre d'étendue.

Tout corps qui reçoit de la chaleur se dilate, et tout corps qui en émet se contracte. Dans le premier, il y a augmentation de la quantité d'éther contenue dans les espaces intermoléculaires; dans le second, il y a diminution. Si les deux corps sont voisins, il est clair que les deux phénomènes seront connexes et que l'éther de l'un passera dans l'autre. Tout cela est indiscutable; reste à trouver la ou les forces qui, d'une part, rapprochent les *molécules, et,* de l'autre, les écartent.

Les forces qui rapprochent les molécules nous sont connues : ce sont l'attraction et l'affinité; lorsqu'elles agissent, elles chassent évidemment l'éther contenu dans les espaces intermoléculaires qu'elles tendent à oblitérer. Cet éther chassé doit forcément occuper une autre place, et, s'il passe dans d'autres intervalles, il les dilatera. L'attraction et l'affinité produisent donc des phénomènes semblables à ceux que nous appelons calorifiques, et auxquels nous ne donnons ce nom qu'à cause des impressions que transmettent à notre cerveau les extrémités nerveuses de la peau.

S'il y a non seulement similitude, mais identité, entre les phénomènes calorifiques et ceux produits par l'attraction et l'affinité, l'expérimentation devra nous en donner la preuve.

A l'aide d'un moyen mécanique quelconque, rapprochons les molécules ou atomes d'un corps solide, liquide ou gazeux ; nous chassons forcément l'éther inclus, qui s'échappe, se réfugie dans les espaces intermoléculaires voisins et les dilate. En effet, si nous plaçons un thermomètre à proximité, nous voyons le mercure monter dans le tube et nous concluons qu'il y a élévation de température, c'est-à-dire production de chaleur. Ainsi, en produisant artificiellement les effets de l'attraction, on donne naissance à des phénomènes calorifiques. Mais ce n'est pas, comme on le prétend par une fausse interprétation du phénomène, le corps comprimé qui s'échauffe, mais bien les corps environnants.

Dans l'expérience bien connue de Tyndall, lorsqu'on introduit de force une quantité considérable d'air dans un vase de métal à parois résistantes, on dit que cet air s'échauffe. C'est une erreur; la vérité est que tous les corps en contact médiat ou immédiat se dilatent ou augmentent de température. Quand la dispersion de l'éther expulsé a

eu lieu, ils reprennent leur volume ou température primitive. Mais, si le gaz est mis en liberté, pour qu'il reprenne son volume primitif, il doit emprunter la quantité d'éther perdue aux corps environnants, qui alors diminuent de volume sous l'influence de l'attraction, ou, comme on dit habituellement, se refroidissent.

Une comparaison va rendre évident l'effet de la compression. Prenons un terrain humide, mais présentant une certaine fermeté. L'eau qu'il contient est comprise dans les intervalles des particules terrestres, et, par conséquent, comparable à l'éther intermoléculaire. En appliquant la main sur ce sol, on ne perçoit aucune humidité. Faisons-le maintenant traverser par un régiment formé par sections. Partout où il aura passé, la surface, primitivement ferme, sera transformée en une boue liquide qui mouillera tous les corps mis en contact avec elle. Cependant, aucun des militaires n'a versé de l'eau sur son passage; seulement, ils ont comprimé les espaces interparcellaires des couches profondes, et l'eau qu'ils contenaient, a reflué à la superficie. C'est précisément ce qui arrive quand on frappe à coups redoublés sur une enclume; l'éther des couches profondes vient à la surface et nous donne une sensation de chaleur. Au bout d'un certain temps, celui qui ne s'est pas échappé, regagne les couches profondes et l'équilibre de température se rétablit; c'est par le même mécanisme que, quelques heures après le passage du régiment, le terrain se raffermit : l'eau non évaporée reprend sa position primitive.

Si maintenant, par d'autres procédés mécaniques, nous diminuons la puissance de l'attraction, nous augmentons les dimensions des espaces intermoléculaires, et l'éther qui y pénètre est emprunté aux espaces des corps environnants qui se rétractent en proportion; dans le thermomètre, par exemple, la colonne liquide baisse. On dit alors

que le corps raréfié se refroidit, sans se rendre compte que cette proposition contredit ce principe indiscutable que la chaleur dilate les corps. S'il en était ainsi, il y aurait des dilatations chaudes et des dilatations froides, ce qui est absurde. Bien plus, cette dilatation froide, lorsqu'elle cesse d'avoir lieu, donne de la chaleur. L'expérience suivante, exécutée par le physicien suédois Edlund, va nous en donner la preuve.

Une barre de fer reposant sur une table, s'y trouve fixée par une de ses extrémités et est soumise par l'autre à une traction de 20 kilogrammes, par exemple. Si on la met en contact avec un appareil thermo-électrique au moment où l'on cesse la traction, on verra le galvanomètre indiquer une élévation de température ; cependant, si on avait appliqué l'appareil au moment où les 20 kilogrammes commençaient à dilater la barre dans le sens de sa longueur, on aurait observé un mouvement de l'aiguille en sens contraire, et on en aurait conclu que le métal se refroidissait en s'allongeant.

Ainsi, quand on augmente ou diminue la densité d'un corps, il dégage ou absorbe d'autant plus de calorique ou d'éther que la diminution ou l'augmentation de volume est plus grande.

La production de chaleur par le frottement est plus complexe. L'explication du phénomène nécessiterait une analyse que le cadre de cet ouvrage ne comporte pas. Qu'il me suffise de dire que la compression y joue, comme ailleurs, le rôle principal.

En somme, tout corps qui se contracte, dilate les corps environnants, et tout corps qui se dilate, en facilite la contraction ; les variations du thermomètre n'indiquent pas autre chose. Nous avons qualifié de calorifique ces phénomènes, à cause des sensations qu'ils nous font éprouver. Sans cela, nous n'y aurions pas vu autre chose

que ce qui se passe lorsqu'on presse sur l'une ou l'autre de deux vessies en caoutchouc remplies incomplètement d'un fluide quelconque et communiquant entre elles par un tuyau. Dans l'espèce, c'est l'attraction qui joue le rôle de la main de l'opérateur.

La température d'un corps est la quantité d'éther qu'il peut perdre ou acquérir au profit ou aux dépens de la colonne thermométrique, jusqu'à ce que l'attraction de ses atomes ou molécules les uns pour les autres soit contre-balancée par la résistance de l'éther contenu dans leurs intervalles. Cet équilibre est, pour ainsi dire, instable, car il est sans cesse modifié par les circonstances extérieures qui augmentent ou diminuent la résistance de l'éther intermoléculaire.

Pour qu'un corps dilaté ou comprimé reprenne son volume primitif, c'est-à-dire pour que ses intervalles moléculaires reviennent à leurs dimensions primitives, il faut qu'il perde ou acquière juste la même quantité d'éther qu'il avait acquise ou perdue. Telle est l'origine de l'*équivalent mécanique de la chaleur*, que la théorie des vibrations calorifiques ne saurait expliquer, et qui est la base de la *Thermodynamique*.

L'affinité joue absolument le même rôle que l'attraction. Lorsque les atomes ou molécules de deux corps différents s'unissent pour former de nouvelles molécules, ils expulsent l'éther qui les séparait; il y a dilatation des corps environnants ou dégagement de chaleur. Pour rompre la combinaison, il faut réintégrer juste la quantité d'éther expulsé.

Quand deux espèces d'atomes ou molécules ont peu d'affinité l'une pour l'autre, c'est que l'attraction, qui maintient en rapport les atomes ou molécules de même nature, l'emporte sur l'affinité. Si on diminue l'attraction *en chauffant,* c'est-à-dire en introduisant par force de

éther dans les intervalles moléculaires des corps en présence, la combinaison a lieu. Lorsque, pour une cause quelconque, elle vient à être détruite, l'attraction, reprenant son empire, expulse exactement la quantité d'éther ou de chaleur qui avait été employée.

C'est de l'observation de ces faits qu'est née la *Thermochimie*, découverte dont notre compatriote, M. le professeur Berthelot, peut à juste titre revendiquer la plus grande part. Elle n'est autre que le tableau de la lutte entre l'attraction et l'affinité, lutte dont les effets les plus apparents sont les phénomènes calorifiques, autrement dit les déplacements de l'éther.

L'unité calorique, ou *calorie*, si utile pour le calcul des opérations physico-chimiques, est la quantité d'éther nécessaire pour dilater d'un degré centigrade un kilogramme d'eau distillée.

L'accumulation de l'éther peut, à un degré donné, faire passer les corps de l'état solide à l'état liquide, et de l'état liquide à l'état gazeux. Ce changement d'état nécessite quelques explications.

Si, dans les corps solides, les atomes ou molécules sont en contact plus ou moins intime, les interstices doivent être attribués à leur forme sphéroïdale. Sous l'influence de la chaleur, ces espaces s'agrandissent, les surfaces de contact diminuent d'étendue et le volume augmente; mais, à un moment donné, les atomes, sans se séparer, arrivent à pouvoir glisser les uns sur les autres : c'est le passage à l'état liquide. Or, on observe alors que la température du liquide ne change pas tant que tout le solide n'est pas fondu ; la chaleur, dit-on, passe à l'état latent. Si, ensuite, on continue à chauffer, ce sont les intervalles moléculaires du liquide qui se dilatent, sans pour cela que le contact mobile cesse d'avoir lieu. Mais bientôt les atomes ou molécules *se séparent et il y a passage* à l'état gazeux. A ce

moment encore, la température du liquide cessera de s'accroître tant qu'il ne sera pas vaporisé entièrement; la chaleur passe de nouveau à l'état latent.

J'ignore comment on explique ces phénomènes avec la théorie des vibrations calorifiques; en tous cas, cette explication est très facile avec celle que j'expose. Il est bien clair que tout l'éther introduit sert à donner aux espaces intermoléculaires les dimensions qui constituent l'état liquide, puis l'état gazeux. Or, dans ces nouvelles conditions d'écartement des particules matérielles, l'attraction qui agit en raison inverse du carré des distances, perd singulièrement de son intensité, et l'éther du liquide et du gaz reste interposé, tant qu'il demeure dans les limites strictement nécessaires pour l'apparition du nouvel état; il n'est donc plus chassé dans le thermomètre, dont la colonne liquide ne varie plus de hauteur. Pour l'extraire, il faudra un certain effort, et cet effort ne sera produit que par un appel d'éther fait par les corps environnants. C'est ainsi qu'agissent les mélanges réfrigérants, tels que la glace pulvérisée au contact d'un sel avide d'eau. Cette espèce d'affinité lutte contre l'attraction qui unit les molécules des deux solides dont les intervalles s'agrandissent et aspirent l'éther du voisinage pour se liquéfier.

Lorsque la cohésion d'un liquide est faible, il peut donner des vapeurs à toutes les températures; la masse d'éther contenu dans l'air atmosphérique facilite le passage à l'état gazeux. L'eau et le mercure, à l'état solide, présentent même ce phénomène sans liquéfaction préalable apparente. De plus, certains corps, tels que l'arsenic, à la pression ordinaire, passent toujours directement de l'état solide à l'état gazeux.

Pendant la dilatation progressive d'un corps, depuis l'état solide jusqu'à l'état gazeux, il peut arriver que, pendant l'accumulation de l'éther, les vibrations des parti

cules élémentaires soient activées au point de devenir lumineuses. Cette accélération se manifeste à des époques très différentes, et elle paraît d'autant plus précoce que l'attraction présente plus de résistance. En traitant de la lumière, nous avons cité les exemples de l'hydrogène et du platine.

A propos du platine, citons les effets calorifiques et consécutivement chimiques que produit la propriété qu'il a de condenser les gaz dans les porosités de sa masse. L'éther ainsi expulsé pénètre dans les intervalles moléculaires du métal et les dilate au point de développer des vibrations lumineuses. Cette propriété s'observe aussi chez plusieurs autres solides, mais à des degrés variables. La dissolution des gaz ou vapeurs dans les liquides, amène également un dégagement d'éther ou de chaleur proportionnel aux quantités absorbées. Ensuite, si l'on chauffe ou mieux si l'on introduit de l'éther étranger, les gaz inclus s'échappent.

Par contre, pour qu'un solide se dissolve dans un liquide, c'est-à-dire devienne liquide lui-même, il doit emprunter l'éther nécessaire au dissolvant et, par son entremise, aux corps environnants; il y a abaissement de température. C'est ainsi que la chaleur favorise les dissolutions. Mais souvent le refroidissement est masqué par un phénomène chimique qui dégage de l'éther. C'est ce qui arrive lorsque la molécule du corps dissout s'unit intimement à une ou plusieurs molécules du liquide; il y a alors dégagement d'éther ou de chaleur.

En résumé, de tout ce qui précède, nous sommes autorisés à induire que l'attraction et l'affinité sont les seuls facteurs des phénomènes calorifiques, autrement dit des déplacements de l'éther.

Quant à la réflexion de la chaleur obscure et à sa concentration au foyer d'un miroir concave, c'est simplement

celle de l'éther, et il en serait de même de toute particule solide, liquide ou gazeuse venant frapper la surface du miroir. Cette réflexion et cette concentration par déplacement est même bien plus facile à comprendre que celle des vibrations lumineuses et sonores. La réfraction de l'éther en mouvement n'a rien non plus de surprenant, car tout corps, même solide, traversant des milieux de différentes densités, modifie sa direction à chaque changement de milieu.

Il nous reste maintenant à expliquer le mécanisme des phénomènes calorifiques qui sont produits sous l'influence solaire. Il est bien clair que ce n'est pas l'éther émis par le soleil qui pénètre les corps de la surface terrestre pour les faire changer d'état. La théorie de l'émission, si malencontreusement préconisée par Newton, est bien et dûment condamnée.

Les observations astronomiques nous montrent que la matière solaire est dans un état d'agitation continuelle, caractérisée par des mouvements d'expansion et de concentration. Ces mouvements produisent naturellement, sur la masse d'éther qui l'entoure, une suite d'ondulations absolument semblables à celles que cause, à la surface d'une nappe liquide, un corps placé à son centre et sans cesse agité. Si la pièce d'eau est très étendue et les mouvements peu intenses, les ondulations se perdent avant d'atteindre la rive. Dans le cas contraire, elles y produisent un flot sous l'influence duquel l'eau pénètre dans les intervalles des grains de sable qui composent le rivage, et en augmente les dimensions. Si le corps cesse de s'agiter, le flot ne se produit plus, l'eau se retire et les particules reprennent leurs rapports primitifs. C'est précisément ce que l'on observe sous l'influence des ondulations éthérées produites par les mouvements violents de la matière solaire, lorsque ces ondulations atteignent la Terre qui con-

stitue une espèce de rivage de la mer éthérée. Le fluide pénètre dans les intervalles moléculaires, les gaz se dilatent, les liquides gonflent et toutes les dimensions des solides augmentent d'étendue. Puis, lorsque le soleil a disparu de l'horizon, l'éther s'écoule sous l'influence de l'attraction, et gaz, liquides et solides reprennent leur volume primitif. Ce dernier phénomène a reçu le nom de radiation nocturne.

Durant les longues nuits des pôles, l'attraction n'étant plus contre-balancée par le flot d'éther, celui-ci s'échappe de tous les liquides, et même du mercure, au point de les ramener à l'état solide. Sous l'équateur, les douze heures de nuit sont insuffisantes pour produire des résultats aussi prononcés ; mais la condensation n'en est pas moins manifeste. Remarquons que l'éther, expulsé par la diminution des intervalles moléculaires, se répand partout où il éprouve moins de résistance ; il se déverse d'abord dans l'atmosphère, et ce n'est qu'à sa limite qu'il regagne la masse intersidérable, espèce de réservoir commun. C'est précisément le voisinage de ce réservoir qui facilite les condensations sur les hautes montagnes, qui, même sous l'équateur, sont sans cesse couvertes de neige. Ce que nous appelons la chaleur solaire, à cause de l'impression perçue par le sens du toucher, n'est donc qu'un déplacement de l'éther produit par l'agitation de sa surface. Lorsqu'elle sera solidifiée, adieu la chaleur.

—Mais, dira-t-on, la chaleur solaire est toujours accompagnée de vibrations lumineuses ; vous voyez bien que les deux phénomènes sont identiques. — Il y a simultanéité, mais non identité. Une comparaison va nous faire voir que le mouvement vibratoire n'est pas capable de produire des déplacements.

Lorsqu'une pièce d'artillerie de gros calibre détone, le bruit s'entend au loin et les vitres des maisons voisines

sont brisées; si c'est une poudrière qui saute, des murailles, situées à une distance relativement grande, peuvent même être renversées. Il est clair que ce ne sont pas les vibrations sonores de l'air qui causent ces dégâts, mais bien son déplacement en masse qui se propage par ondes volumineuses jusqu'aux obstacles qu'il renverse. Or, le flot d'air, qui, brisant nos croisées, pénètre dans nos appartements, est en même temps en vibration, car la détonation frappe simultanément nos oreilles. Il en est de même du flot d'éther que nous envoie le soleil ; il est en même temps animé d'un mouvement vibratoire lumineux. Il n'est pas étonnant que chaleur et lumière nous arrivent en même temps, et que la production du spectre solaire s'accompagne de chaleur : l'éther traverse le prisme en vibrant.

La vitesse de l'onde éthérée calorifique, produite par le soleil et les autres astres à l'état stellaire, ne peut guère être calculée ; on peut seulement affirmer que ce mouvement du fluide intersidéral doit être très rapide et proportionnel à celui produit par les vibrations lumineuses. Quant à la vitesse du déplacement de l'éther dans les espaces intermoléculaires, elle dépend d'abord de la quantité mise en mouvement, puis de la disposition relative des atomes ou molécules et peut-être aussi de leur forme. Très intense dans les gaz, elle est d'une lenteur extrême dans les liquides, quand la pénétration a lieu dans une direction opposée à celle de la force attractive du globe ; dans les solides, elle dépend de leur nature. Tant que nous ignorerons la configuration des atomes, nous ne pourrons nous rendre compte de ces différences.

Nous sommes donc autorisés à conclure que tous les phénomènes calorifiques sont dus à des déplacements de l'éther, et que la chaleur n'est pas une force, mais un des résultats de l'activité de la matière sous forme d'at-
tion et d'affinité.

§ 3. ÉLECTRICITÉ.

Théorie de l'électricité ; expériences de Crookes. Electricité statique ; activité physiologique des atomes ; Transformation de l'électricité en chaleur ; Influence de la lumière sur la conductibilité. — Electricité dynamique ; sa production par la chaleur ; réapparition de celle-ci ; courants induits.

Malgré les applications si nombreuses et si variées dont l'électricité a été l'objet depuis cent ans, on s'est peu préoccupé d'en donner une bonne théorie. En France, on se contente dans l'enseignement de celle des deux fluides, comme étant la plus commode, bien que sa fausseté soit évidente pour tous.

Un grand nombre de physiciens attribuent les phénomènes électriques à des mouvements de l'éther. Cette opinion est parfaitement plausible, car elle est induite de la rapidité de leur transmission. En effet, cette vitesse n'est comparable qu'à celle de la lumière et laisse bien loin derrière celle des atomes ou des corps célestes. Mais quelle est la nature de ce mouvement ?

— C'est une vibration, répondent les amis des problèmes faciles ; tout est vibration dans la nature. — Une telle opinion ne peut être prouvée et par conséquent discutée.

Pour d'autres, le principe du mouvement électrique est l'attraction, qui agit sur l'éther comme sur les particules matérielles. Un corps électrisé positivement est celui dont les atomes ont autour d'eux une masse plus dense d'éther ; c'est le contraire pour ceux électrisés négativement. L'électricité positive des couches supérieures de l'atmosphère a pour cause la densité de l'éther qui entoure *notre planète*. Je n'entreprendrai pas de réfuter

point par point cette théorie. Il me suffira de faire remarquer que, si l'éther avait une densité quelconque, le système solaire serait depuis longtemps disloqué. Tout astre circulant autour d'un autre verrait son mouvement se ralentir au fur et à mesure qu'il s'approcherait de son centre de gravitation; or, c'est précisément le contraire qui a lieu. Une comète, qui marche avec une lenteur relative dans les espaces interstellaires, est animée d'une vitesse vertigineuse quand elle approche du soleil. Les astronomes ont, du reste, démontré cent fois, par les observations les plus délicates et les plus précises, que l'espace, en aucun point, n'oppose la moindre résistance. L'éther ne présente donc aucune des formes de l'activité de la matière; il est absolument passif.

Quelques savants ont émis l'idée que le mouvement de l'éther se passe dans les atomes eux-mêmes, qui, n'étant certainement pas compacts, doivent contenir une certaine quantité de ce fluide. Elle serait susceptible d'augmenter ou de diminuer, et de ces variations résulteraient les électricités positives et négatives. Cette hypothèse nous paraît la plus probable, et c'est celle que nous donnons pour base à la théorie que nous allons développer.

Tout d'abord, il s'agit d'établir que les molécules électrisées positivement contiennent une surabondance d'éther qu'elles peuvent perdre. Les expériences de Crookes sur la matière radiante vont nous montrer qu'il en est bien ainsi.

Dans un tube où le vide est fait à millionième de millimètre, les atomes d'un gaz sont suffisamment raréfiés pour que leur mouvement rectiligne soit peu ou pas dérangé par leurs rencontres. Si dans le tube on a au préalable introduit des électrodes, au moment où l'on fait passer un courant, les atomes se comportent comme des *balles de sureau* vis-à-vis de ces électrodes; ils se préci-

pitent dessus, et aussitôt le contact opéré, ils sont repoussés violemment. A ce moment, ils sont électrisés et la direction de leur marche peut être modifiée par un aimant placé à l'extérieur.

Si l'un des électrodes a la forme d'une calotte de sphère creuse, les atomes renvoyés par sa surface interne se dirigent vers son foyer et y convergent. Sous leur influence, un mince fil d'un alliage d'iridium et de platine, placé à ce foyer, devient incandescent et même entre en fusion. Lorsqu'à l'aide d'un aimant on amène le point de concentration sur la paroi du tube, le verre se dilate et se ramollit au point d'être percé par la pression atmosphérique. Pour éviter cet effet destructeur, on peut rendre le phénomène aussi manifeste en enduisant extérieurement le tube d'une couche de cire, là où le point de concentration des atomes est dirigé, et l'on voit bientôt la cire fondre et couler.

L'éther, qui produit ce changement d'état de l'alliage, du verre et de la cire, vient évidemment des atomes et non du milieu dans lequel ils se meuvent, et cet excès dont ils sont chargés au contact de l'électrode a pour origine la combustion du zinc de la pile.

Ces faits expérimentaux me paraissent démontrer que les atomes ou molécules peuvent absorber momentanément une certaine quantité d'éther en excès, à la manière d'une éponge, et qu'ils sont alors dans un état électrique. De ce que certains corps électrisés ont leurs atomes surchargés d'éther, nous sommes autorisés à admettre que les atomes de ceux électrisés d'une façon contraire, doivent en contenir moins qu'à l'état normal. Telle est la base de la théorie en question. On comprend, en effet, qu'une fois ... de l'éther intra-atomique rompu, il se fasse ... les élémentaire ... succession ... arrêteront ... équilibre

sera rétabli. Faisons maintenant l'application de ces données aux phénomènes classiques de l'électricité et voyons s'ils peuvent s'y adapter.

Électricité statique. — Si nous mettons en contact deux corps électrisés, l'un en plus l'autre en moins, ils cessent tous deux de l'être; l'éther en excès des atomes de l'un a été absorbé par ceux de l'autre, qui n'avaient pas leur contingent, et l'équilibre s'est rétabli.

Prenons un corps électrisé en plus et approchons-en un corps normal très léger ; celui-ci est attiré, et, aussitôt le contact, il s'éloigne chargé d'une partie de l'excédent d'éther du premier. Si le corps neutre et le corps électrisé positivement ne peuvent se déplacer spontanément, mais sont suffisamment rapprochés, les atomes du premier qui sont les plus voisins du second, perdent une partie de leur éther au profit des plus éloignés, et les deux moitiés se trouvent électrisées différemment par *influence*. Si l'on écarte les deux corps, l'équilibre du neutre se rétablit par un *choc en retour*. Au contraire, il devient négatif lorsqu'on met l'extrémité positive en communication avec le sol qui absorbe l'éther en excès.

Lorsqu'on agit avec un corps électrisé négativement, les phénomènes ont lieu en sens contraire. Le corps léger perd une partie de son éther atomique et devient négatif; le corps neutre est influencé inversement.

On me demandera pourquoi cette attraction et cette répulsion, pourquoi cette action par influence qui indique une espèce de sensibilité de la part des atomes. A cela, je répondrai que ce sont des faits d'observation qui doivent être sous la dépendance des propriétés physiologiques des atomes, car il s'agit bien là de physiologie, puisque leur activité est spontanée. Quoi qu'il en soit, ces phénomènes n'infirment en rien la théorie que je développe.

On comprend que l'électricité par influence soit en rai-

son directe du défaut ou de l'excès d'éther des atomes du corps électrisé. Si la différence entre les deux points voisins est suffisamment grande, l'éther en excès d'un côté franchit l'espace qui les sépare. Libre pendant ce trajet, il se manifeste sous forme de chaleur et peut activer les vibrations des atomes de l'air au point de les rendre lumineux. Il se produit alors ce qu'on appelle l'*étincelle électrique*. On peut utiliser la quantité d'éther, rendue libre sous forme de chaleur, pour des opérations de thermochimie, comme la décomposition de l'ammoniaque et la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène (pistolet de Volta) ; mais alors le corps vers lequel l'éther se dirigeait en reçoit moins, et peut même ne pas en recevoir du tout. C'est une conséquence que les expérimentateurs n'ont point signalée et qui a son importance surtout au point de vue théorique.

Vis-à-vis des corps électrisés positivement ou négativement, la terre joue le rôle d'un réservoir commun qui fournit à l'un l'éther qui lui manque, et reçoit l'excès de l'autre. Sa masse lui permet de faire cette acquisition ou cette dépense sans subir de changements sensibles. Cependant, s'il s'agit de corps volumineux comme les nuages, lorsqu'ils sont fortement électrisés dans un sens ou dans l'autre, une certaine étendue de la surface terrestre se trouve influencée d'une manière manifeste.

Un corps est dit mauvais conducteur de l'électricité lorsque ses atomes ou molécules acquièrent ou perdent difficilement l'éther qui leur fait défaut ou qu'ils possèdent en excès. Ceux sur lesquels le contraire a lieu sont dits bons conducteurs. La lumière paraît modifier la conductibilité électrique de certains corps ; c'est ainsi qu'elle exagère celle du sélénium.

Un corps électrisé soit en plus soit en moins, malgré un isolement aussi complet que possible, perd à la longue

l'éther qu'il a en trop ou prend celui qui lui manque, aux dépens ou au profit du support et des gaz dans lesquels il baigne, et cela d'autant plus facilement que ces derniers sont moins mauvais conducteurs. Mais, comme l'électricité se perd également dans le vide, on peut en conclure que l'éther libre peut aussi rétablir l'équilibre.

Comment maintenant le frottement, cette cause ordinaire d'électricité statique, arrive-t-il à la produire? Nous savons que cette opération mécanique développe de la chaleur, en déplaçant par la pression l'éther contenu dans les espaces intermoléculaires. Est-ce cet éther qui pénétrerait dans la constitution des atomes pour les surcharger? C'est peu probable, puisque l'électricité négative se produit de la même manière. De plus, comme de deux corps frottés l'un devient positif et l'autre négatif, et cela dans les mêmes proportions, il est plus probable que l'éther des atomes de l'un passe dans ceux de l'autre. En tout cas, l'expérimentation peut seule trancher la question.

Électricité dynamique. — La théorie que j'expose s'adapte donc bien à tous les phénomènes d'électricité statique. Avant de passer à l'électricité dynamique, relevons quelques points importants qui découlent de ce qui précède.

L'atome tel que nous le concevons est formé d'une matière fluide, peut-être à l'état de tourbillon, suivant l'opinion de William Thompson, mais mélangé d'éther dans de certaines proportions. Si la quantité de cet éther augmente, l'élasticité de l'atome se trouve mise en jeu et tend à l'expulser. L'atome voisin, par un effet sympathique, certain bien qu'inexpliqué, se contracte de manière à être en mesure de recevoir l'excès du premier. L'éther ainsi expulsé passe à un troisième atome qui, momentanément surchargé, le passe au suivant, et ainsi de suite S'il n'y avait aucune perte d'éther, le déplacement se poursuivrait indéfiniment. Mais le passage de l'éther éprouve

des résistances qui varient suivant la nature des atomes ; il s'échappe en partie, et, au bout d'un certain temps, le mouvement s'arrête. Si le premier atome reçoit continuellement un excès d'éther, le mouvement que je viens de décrire se renouvellera, mais toujours dans les mêmes limites, c'est-à-dire jusqu'à l'épuisement de l'éther par des pertes successives.

Cet apport continu de l'éther a précisément lieu dans les piles.

Si, dans un circuit formé de corps bons conducteurs, une combinaison chimique quelconque dégage de l'éther à un point de contact, celui-ci, au lieu d'entrer sous forme de chaleur dans les intervalles moléculaires, pénètre dans les atomes de l'un d'eux, et immédiatement le mouvement dont nous avons parlé se produit. Mais que devient alors l'éther en excès que les résistances n'ont point dispersé ? Pour les piles hydro-électriques, la réponse est facile. Il revient au point de départ sous forme de chaleur qui facilite la décomposition de l'eau dont l'oxygène doit brûler le zinc, combustion qui fournit l'éther en excès du courant. En effet, aussitôt la fermeture du circuit, on voit l'action chimique prendre une intensité beaucoup plus grande.

Il doit en être de même pour les piles thermo-électriques, et il serait intéressant de constater si le métal électro-négatif dégage de la chaleur en un point quelconque.

On comprend que, dans les piles ordinaires, il y ait intérêt à ce que l'un des deux métaux soit inaltérable par l'eau acidulée, car autrement il se formerait deux courants contraires qui se neutraliseraient en partie ou même complètement, suivant la quantité d'éther dégagé par chaque action chimique. Ainsi s'explique l'action des contre-*courants dus à la pol*arisation. C'est pour la même

raison que, dans les piles thermo-électriques, le courant est d'autant plus fort que les soudures ont des températures plus différentes.

Si, dans un circuit de pile, le passage de l'éther d'un atome à l'autre présente des difficultés, comme lorsqu'on y introduit un corps moins bon conducteur, l'éther qui afflue continuellement se dégage sous forme de chaleur. C'est ainsi que se produisent l'électrolyse et l'arc voltaïque, où la température s'élève assez pour augmenter les vibrations des atomes au point de les rendre lumineux. La diminution de section du conducteur, en réduisant le nombre d'atomes susceptibles de se surcharger d'éther, produit des effets analogues. Le conducteur, réduit de diamètre, devient incandescent et peut même fondre, si la source d'éther ou d'électricité est assez abondante. Là, il n'y a pas résistance, comme on le dit à tort, mais insuffisance. L'éther, ou chaleur, dégagé par l'insuffisance ou la résistance des conducteurs, peut être employé pour liquéfier les solides et vaporiser les liquides, faciliter l'analyse et la synthèse des composés chimiques. L'électricité n'y est en réalité pour rien ; la chaleur seule, c'est-à-dire le dégagement d'éther, agit sur l'attraction et l'affinité, ces propriétés des atomes ou molécules.

Dans l'électrolyse, la séparation des éléments des composés chimiques a lieu sous l'influence d'un dégagement d'éther ou de chaleur, qui, comme nous le savons, est proportionné à celui qui donne lieu à la production du courant. Plus celui-ci est considérable, plus l'action électrolytique est intense, et, pour qu'elle ait lieu, il doit être au moins égal au nombre de calories dégagées lors de la combinaison des corps qu'il s'agit de séparer. En outre, cette séparation paraît être favorisée par la tendance qu'ont leurs atomes à se porter vers l'un ou l'autre des pôles positif et *négatif*.

Pour expliquer cette espèce d'élection, on a dit que ces atomes se chargeaient d'électricité de nom contraire. J'ignore si les physiciens attachent beaucoup d'importance à cette explication ; mais elle me paraît bien insuffisante. En effet, pourquoi le soufre se porte-t-il au pôle négatif lorsqu'on l'extrait de ses combinaison avec l'oxygène, et au pôle positif, si c'est le sulfure de cuivre qui est électrolysé ? Dire qu'il est plus électro-positif que l'oxygène et moins que le cuivre, c'est répondre par la question elle-même.

Voyons si notre théorie peut nous mener à la solution du problème. L'éther entre dans la composition des atomes dans des proportions qui peuvent varier. Mais ces variations ont des limites, manifestes surtout dans les piles où la source d'éther est continue, et ces limites constituent la résistance des conducteurs. Or, comme la nature des atomes détermine cette résistance, on est amené à penser que tous n'ont pas la même capacité normale pour l'éther, et qu'il existe un rapport direct entre cette capacité et la résistance. Il est donc naturel que les atomes qui contiennent normalement moins d'éther se portent vers le pôle positif, où il y a surcharge, et que ceux qui en sont mieux pourvus soient attirés par le pôle négatif, qui en est en partie privé.

En outre, ces derniers, placés dans un circuit parcouru par un courant, présentent moins de résistance que les autres. C'est ainsi que les métaux, qui, tous, sont électro-positifs par rapport aux métalloïdes, sont les meilleurs conducteurs. Mais, parmi les métalloïdes, il y a des nuances ; il n'est donc pas étonnant que le soufre, qui est électro-négatif relativement au cuivre, soit électro-positif par rapport à l'oxygène ; il contient normalement moins d'éther que le premier, mais plus que le second. La théorie que *je développe n'est* donc pas en défaut, même

lorsqu'il s'agit des phénomènes électriques les plus di ciles à expliquer.

Lorsque deux circuits sont parallèles et suffisamm rapprochés, si un courant passe dans l'un d'eux, com les atomes de celui-ci présentent une différence de char en éther, dans une proportion décroissante en allant pôle positif au pôle négatif, ils agissent par influence s ceux de l'autre circuit; il y a alors un déplacement brusq d'éther dans un sens opposé à celui du courant. Ce coura d'influence ne peut durer qu'un instant, l'éther dépl étant maintenu en cette situation tant que le courant co tinu persiste. Mais, si on le supprime, l'éther reprend position primitive, et son déplacement, pour rétablir l'éq libre, a lieu en sens inverse, c'est-à-dire dans le sens courant inducteur. C'est un véritable choc en retour.

De plus, les circuits parallèles, tant que durera le co rant inducteur, tendront à se rapprocher, et, comme physicien russe Lentz l'a démontré, il faudra pour les él gner une force proportionnelle à l'intensité du coura C'est de l'électricité statique et rien autre chose. En vo la preuve : si, pour décharger une bouteille de Leyde, donne à l'excitateur la forme d'un fil en circuit, il se veloppe un courant induit dans un circuit parallèle su samment rapproché. Ce courant a lieu dans une directi inverse à celle de la décharge; mais, lorsqu'elle est t minée, il s'en produit un second dans le même sens p choc en retour.

Ainsi la théorie rend parfaitement compte du phén mène si curieux et si important des courants induits. J qu'ici, à ma connaissance, il n'en a pas été donné d'e plication aussi claire et, je puis le dire, aussi exacte.

Cette théorie, comme celle de la chaleur exposée p haut, étant basée sur des déplacements en masse l'éther, permet de comprendre comment ces deux ord

de phénomènes physiques sont susceptibles de calculs quantitatifs, et pourquoi l'on peut mesurer, d'après les effets produits, la quantité d'éther déplacé dans un quelconque de ces phénomènes. En effet, on a établi d'une manière précise des unités caloriques et des unités électriques, et on a pu calculer les rapports qui existent entre elles. Les vibrations ne se prêteraient pas à ces calculs.

En résumé, l'électricité n'est en réalité que de la chaleur à l'état latent que l'on peut transporter à de très grandes distances avec une vitesse presque égale à celle de la lumière. Les fils conducteurs sont des espèces de tuyaux qui donnent passage à l'éther calorifique. Les effets de ces deux ordres de phénomènes sont donc absolument les mêmes : exagération des vibrations des atomes et molécules au point de les rendre lumineux, production de combinaisons et de décombinaisons chimiques, par conséquent influence sur l'affinité, enfin lutte contre l'attraction ou cohésion, d'où résulte la dilatation des corps et leur changement d'état. Les seuls phénomènes spéciaux à l'électricité sont : l'attraction des corps électrisés différemment, la répulsion de ceux qui le sont d'une manière identique, et l'étincelle lumineuse qui apparaît chaque fois que l'éther peut passer d'un conducteur à l'autre sans se disperser. L'électricité nous fait, en outre, pénétrer plus avant dans la physiologie des atomes et molécules.

Ainsi, les phénomènes électriques sont bien les résultats de l'action combinée de la matière et de l'éther. L'électricité n'est pas une force, mais une conséquence de l'activité des particules élémentaires.

§ 3. MAGNÉTISME.

Identité du magnétisme et de l'électricité.

En 1820, date des fameuses expériences d'Oerstedt, Arago, en montrant qu'un fil métallique dans lequel passe un courant électrique agit comme un aimant sur de la limaille de fer, a établi la grande analogie qui existe entre le magnétisme et l'électricité. La même année, Ampère précisa cette similitude par sa comparaison des barreaux aimantés à des solénoïdes. On a mis en doute, il est vrai, ce mode de distribution des courants magnétiques; mais leur existence est incontestable et incontestée.

La théorie de l'électricité que nous venons d'exposer est donc applicable au magnétisme. Nous devons seulement faire observer que les phénomènes auxquels ce dernier donne lieu ne s'observent que dans un nombre de corps très limité. Le fer oxydulé, Fe^3O^4, est aimanté naturellement; l'acier, ou fer carburé, peut rester en cet état un temps très long; enfin, le fer doux ou pur et les autres métaux magnétiques n'acquièrent cette propriété que par influence et tant que dure cette influence.

Ainsi, dans un aimant naturel ou artificiel, permanent ou non, l'éther entrant dans la composition des atomes ou molécules est dans un état instable. Une certaine partie de ce fluide passe continuellement d'une molécule à l'autre pour revenir à son point de départ. Reste à savoir si la quantité mobile d'éther est surajoutée, comme pour l'électricité, ou si elle quitte seulement certains atomes qui seraient le point de départ du courant. Les procédés d'aimantation tendraient à faire admettre cette dernière hypothèse ; si bien que, dans l'aimant naturel, une partie de l'éther des molécules serait dans un mouvement per-

pétuel. Dans l'acier aimanté, ce mouvement est dit permanent ; mais il finit à la longue par diminuer d'intensité, même lorsqu'il est entretenu par une armature de fer doux, qui, aimantée par influence, influe à son tour sur l'aimantation de l'acier. Pour les autres corps, il est essentiellement temporaire, puisqu'il ne peut être que le résultat de l'induction.

Cependant M. Gaugain (Académie des sciences, séance du 1er février 1875) a constaté qu'un barreau d'acier, mis en contact avec l'un des pôles d'un aimant permanent, s'aimante beaucoup plus fortement s'il est chauffé, et cette aimantation intense persiste lorsqu'on le laisse refroidir en maintenant le contact. D'autre part, M. Cazin (Société philomatique, séance du 14 mars 1874) a institué des expériences d'induction magnétique par un courant électrique, desquelles il résulterait qu'à chaque interruption le fer doux dégagerait de la chaleur ; il prétend même qu'il serait possible de calculer l'équivalent magnétique de la chaleur.

Quoi qu'il en soit, tout ce que nous avons dit de l'électricité s'applique exactement au magnétisme. La seule différence, c'est que, l'éther ne s'échappant pas du circuit, l'action magnétique est limitée à l'induction ou influence, et ne peut modifier ni la cohésion, ni l'affinité, ni le nombre des vibrations des atomes ou molécules.

§ 5. NERVOSITÉ.

Nature de la nervosité. — Son siège. — Ses effets : Sécrétions, contractions musculaires, électricité, phosphorescence, intelligence.

Bien que les physiologistes aient renoncé à l'hypothèse des *forces vitales*, on n'a pas encore rangé les propriétés

du système nerveux parmi les phénomènes physiques. Nous allons néanmoins montrer que ce système n'est autre chose qu'un appareil de physique et que la nervosité est en tout comparable au magnétisme et à l'électricité. S'il existe des différences importantes, elles tiennent surtout à la nature de la substance dans laquelle la nervosité se développe ; mais, comme nous allons le voir, la cause des phénomènes est toujours la même et les résultats produits sont identiques, à une seule exception près (1).

On a, grâce au microscope, reconnu qu'un appareil nerveux quelconque était un assemblage de petits appareils élémentaires. Ceux-ci sont composés de deux cellules réunies entre elles par de fines ramifications de leur substance et émettant chacune un filet plus ou moins long. Par ces filets, les cellules sont en communication d'une part avec les surfaces limitantes internes et externes du corps des animaux, et de l'autre avec certains organes qui doivent être le siège de combinaisons chimiques. Le tout, et spécialement les cellules, est abondamment arrosé par le fluide nourricier. L'oxygène que ce liquide contient, soit en dissolution, soit en combinaison instable, attaque certains principes, non encore spécifiés, de la substance nerveuse. Cette espèce de combustion produit absolument les mêmes résultats que celle du zinc dans la pile ordinaire. L'éther qui se dégage, au lieu de se manifester sous forme de chaleur, pénètre dans la constitution des molécules, qui s'en trouvent ainsi surchargées dans toute l'étendue de l'appareil élémentaire.

Les choses resteraient en l'état, et aucun phénomène ne se manifesterait si une excitation extérieure, qui fait rarement défaut, ne venait mettre en mouvement l'éther

(1) Voir notre mémoire : *le Système nerveux, la nervosité et l'intelligence considérés au point de vue physico-chimique*, in *Bulletins de la Société d'anthropologie*, 1887, p. 469.

surajouté. C'est sur les surfaces limitantes qu'elle se produit, à l'extrémité du filet nerveux. Sous cette influence, l'éther se transporte de molécules en molécules jusqu'à l'autre extrémité, où il se dégage sous forme de chaleur qui donne naissance à des réactions chimiques variant suivant la nature des corps en présence. Le petit appareil se trouve donc polarisé, comme l'un des éléments d'une pile. Il y a un pôle d'excitation et un pôle d'émission, mais pas de circuit.

Pour que le fonctionnement se perpétue, il faut que l'apport d'oxygène soit continu, que les substances combustibles soient renouvelées et que les résultats de la combustion disparaissent. Ces conditions indispensables sont obtenues par la circulation du liquide nourricier qui apporte l'oxygène et les éléments réparateurs, et emmène les produits comburés. Si cette circulation s'arrête, l'appareil ne fonctionne plus, et, comme sa substance s'altère immédiatement, il meurt.

Les excitants susceptibles de mettre en mouvement l'éther introduit en excès dans les molécules de l'appareil nerveux sont de nature très diverses. Ce sont d'abord les corps solides, liquides ou gazeux, agissant par masses vibrantes ou non, comme pour le toucher et l'ouïe, ou bien à l'état de division extrême, comme sur les nerfs du goût et de l'odorat. L'éther en mouvement agit aussi comme excitateur de la nervosité, soit en masse sous forme de chaleur, soit à l'état de vibrations lumineuses. Il donne une simple impulsion et ne pénètre pas dans l'appareil; autrement il pourrait suppléer à celui fourni par l'oxygénation, ce qui n'a pas lieu. Les dispositions spéciales que présente la surface limitante externe du corps pour recevoir ces excitations diverses constituent les organes des sens.

A l'*autre extrémité de l'appareil* nerveux élémentaire

l'éther, dégagé sous forme de chaleur, favorise, avons-nous dit, les combinaisons chimiques. C'est ce qui arrive dans les glandes, où le plasma du sang se trouve transformé en sécrétions diverses, suivant la nature chimique du contenu des cellules de ces glandes ; il en est de même dans les muscles, où les hydrates de carbone dont ils sont imprégnés sont brûlés par l'oxygène de leur hémoglobine. Sans l'éther qui sort du nerf, cette combustion n'aurait pas lieu ; l'expérience l'a démontré. L'abondance d'éther ou de chaleur qui se dégage alors pénètre et reste latent entre les molécules de la substance musculaire, qui se raccourcit sous cette influence et produit un mouvement d'une des parties du corps. La quantité ainsi absorbée est d'autant plus grande que la résistance à vaincre est plus considérable. C'est un phénomène intermoléculaire, analogue à ce qui se passe dans l'expérience d'Edlund que nous avons citée à propos de la chaleur (voir p. 89). La barre de fer, comme le muscle, absorbe d'autant plus d'éther ou de chaleur que la traction est plus puissante, c'est-à-dire les espaces intermoléculaires plus agrandis. L'éther, ou chaleur, non absorbé par la contraction musculaire, contribue à élever la température du corps.

L'éther qui sort de l'appareil nerveux peut aussi être l'occasion du développement de phénomènes électriques dans certains organes disposés comme des piles. La gymnote et la torpille en offrent des exemples. D'autres fois, il fait vibrer certains groupes de molécules au point de les rendre lumineuses, comme il arrive chez les animaux phosphorescents. Est-ce l'éther nerveux, ou celui dégagé par une combustion sollicitée par lui, qui donne naissance aux phénomènes électriques et lumineux? C'est ce que les zoologistes physiciens spécifieront tôt ou tard. En attendant, la seconde hypothèse paraît plus probable, *l'éther qui* s'échappe du nerf paraissant être en quan-

ité trop minime pour produire des effets aussi intenses.

Comme l'appareil nerveux simple n'a qu'une sphère d'action très limitée, tout animal d'un certain volume doit en avoir un nombre proportionnel, d'une part, à la surface de sa peau et de ses muqueuses, et, de l'autre, au nombre et à la grosseur des organes à mettre en action. Ces appareils forment des groupes plus ou moins considérables, dont la synergie est assurée par les anastomoses des fibrilles qui émanent des cellules. Enfin, les groupes communiquent entre eux par des filets émanant de certains de leurs éléments. Ces filets leur permettent, lorsqu'ils sont épuisés par des excitations violentes ou prolongées, de continuer à fonctionner à l'aide de l'éther mobile de l'ensemble du système. Cette solidarité s'explique par ce fait que la tension maximum de l'éther est l'état normal des molécules de la substance nerveuse, et qu'aussitôt que cette tension diminue en un point, l'élasticité des molécules non épuisées tend à la rétablir à l'aide des filets de communication. Si cet apport faisait défaut, les molécules en souffrance s'altéreraient immédiatement ; il y aurait épuisement nerveux. Dans les corps électrisables, au contraire, l'état normal est une tension moyenne de l'éther, susceptible d'augmentation (électricité positive) ou de diminution (électricité négative), sans que l'un ou l'autre de ces états entraîne un changement de nature.

Quelques groupes d'appareils nerveux simples n'ont d'autre fonction que d'entretenir d'éther certains appareils actifs dont le travail doit être considérable et rarement interrompu. On reconnaît les premiers à l'absence de toute connexion avec les surfaces limitantes et les organes à mettre en action. Tel est, par exemple, le rôle du cervelet par rapport aux groupes d'appareils simples qui doivent faire contracter les muscles de la station et de la progression. *Son volume relatif est en* raison directe du travail

de ces muscles ; aussi celui de l'homme, dont la station bipède et la marche nécessitent le plus d'efforts musculaires continus, est-il relativement de beaucoup le plus volumineux. Lorsqu'il est lésé, ces muscles ne sont pas paralysés, mais leurs contractions ne sont plus assez énergiques ni assez continues pour leur permettre d'exercer leurs fonctions régulièrement (1).

Mais l'action des courants éthérés nerveux n'a pas toujours lieu uniquement à l'extrémité des nerfs centrifuges. Il existe certains groupes où l'éther des filets centripètes semble s'accumuler sur les cellules auxquelles ils aboutissent ; en tout cas, il y laisse une trace plus ou moins durable, en rapport avec la nature de l'excitation périphérique, et dont l'animal a *conscience*.

Par contre, dans les mêmes groupes, si l'exagération de tension causée par l'accumulation de l'éther n'est pas trop grande ou l'excitation trop violente, les cellules émissives d'où partent les filets centrifuges peuvent ne le laisser passer que par gradation ménagée, si bien que la contraction musculaire qu'elles produisent peut être plus ou moins intense, et le mouvement qui en résulte plus ou moins fort ou délicat suivant la nécessité. Si la tension ou l'excitation sont trop fortes, le courant passe outre et le mouvement est désordonné.

En d'autres termes, les groupes d'appareils nerveux auxquels je fais allusion (hémisphères cérébraux chez les vertébrés), produisent l'intelligence. Leurs cellules réceptrices des excitations périphériques sont le siège des *sensations* perçues (*sensibilité*) et retenues (*mémoire*), et leurs cellules émissives celui de la *volonté*. De plus, aux cellules réceptrices sensitives sont unies d'autres cellules de même

(1) Voir mon mémoire sur les *Conditions statiques et dynamiques de la station bipède chez l'homme* (*Bulletins de la Société d'anthropologie*, 1884, p. 792).

nature, sur lesquelles les courants nerveux fixent les idées qui résultent de la comparaison des sensations perçues ou retenues simultanément. Ce n'est qu'après cette fixation qu'ils parviennent aux cellules volitives, pour delà aller exécuter les mouvements voulus. Les cellules à idées sont d'autant plus nombreuses dans le centre intellectuel que l'animal est plus élevé dans sa série. Les phénomènes intellectuels sont donc des manifestations de la nervosité.

Pour toutes les manifestations périphériques qui se résument en modifications de l'affinité, les filets nerveux n'agissent qu'en transportant l'éther absorbé et en le mettant en liberté à leur extrémité centrifuge. La nervosité agit là à la manière de l'électricité dans nos laboratoires.

La tension que paraissent subir les cellules sensitives sous l'influence de l'afflux de l'éther, et la réaction des cellules volitives qui l'émettent d'une façon graduée, sont conformes à l'idée que l'électricité nous a suggérée sur la physiologie des atomes et molécules, et, dans cette hypothèse, les corps cellulaires en question doivent agir par l'ensemble de leurs particules élémentaires. Resterait à expliquer les phénomènes de conscience et de volition qui se passent dans ces mêmes particules. Il faut l'avouer, nulle observation, nulle expérimentation n'est venue nous mettre jusqu'ici sur la voie de cette explication. Je ne me livrerai donc à aucune conjecture à ce sujet ; mais on me permettra un rapprochement.

Lorsqu'on approche un corps électrisé d'un corps neutre, celui-ci a conscience de ce voisinage, et il se prépare à subir le contact en expulsant une partie de son fluide et en le reléguant au loin, s'il a devant lui un corps électrisé en plus ; si celui-ci l'est en moins, il fait un appel de fluide dans les environs pour faire un accueil convenable à l'arrivant. *On me répondra* qu'il s'agit là d'un phéno-

mène physique. Oui ; mais j'ai démontré que les phénomènes intellectuels étaient de cet ordre. Je n'insiste pas. J'ai seulement voulu faire voir que nous n'avons pas plus de raisons en 1889 de supposer une âme cachée dans les centres nerveux que Thalès, il y a deux mille cinq cents ans, n'en avait d'en prêter une à l'*Electron*.

Je dois ajouter que la sensibilité consciente et la volition paraissent être dues à la présence, dans les centres nerveux qui en sont le siège, d'une substance spéciale non encore déterminée. Nous verrons en effet plus tard, en suivant l'évolution des animaux à symétrie bilatérale, que la sensibilité et la volonté, après avoir occupé toute la série des groupes d'appareils nerveux simples, émigrent progressivement vers l'extrémité antérieure, pour se fixer définitivement sur les ganglions cérébroïdes des invertébrés, ou sur les hémisphères cérébraux des vertébrés (1).

CONCLUSION.

Résumé du livre premier.
Réfutation des théories dynamiques : Énergie universelle ; Élément dynamique de M. Hirn.

De cette première partie de notre travail il résulte que la science physico-chimique a démontré, à l'aide d'observations et d'expérimentations, que l'univers ne contient que la matière et l'éther : malgré l'inertie qu'on lui attribue dans tous les livres de physique, la matière seule est active ; l'éther est passif.

L'activité de la matière réside dans ses particules élémentaires, les atomes et les molécules, ces dernières ré-

(1) Voir mon mémoire sur *l'Évolution phylogénique des hémisphères cérébraux de l'homme* (*Bulletins de la Société d'anthropologie, 1887, p. 104*).

sultant de la réunion plus ou moins intime des atomes.

Les atomes simples ou combinés sont perméables à l'éther, qui peut s'y accumuler ou en être expulsé en différentes proportions ; ils sont sans cesse animés de mouvements de translation et d'oscillation sur place (vibrations). L'attraction les sollicite sans cesse à se rapprocher par simple accolement, et l'affinité, à se fusionner d'une manière plus ou moins intime.

Les atomes simples, jusqu'ici au nombre de soixante-six espèces connues, possèdent toutes ces propriétés à différents degrés. Il en est de même des molécules, beaucoup plus nombreuses par suite de la quantité considérable de combinaisons possibles.

Il existe entre les atomes simples des liens de parenté qui feraient supposer qu'ils sont le résultat de la transformation d'atomes primitivement tous semblables entre eux.

L'éther est une substance inerte ne présentant aucune des activités de la matière, mais d'une mobilité extrême. Il est répandu dans tous les intervalles des atomes, quelles que soient les dimensions de ces intervalles, et entre en plus ou moins grande quantité dans leur constitution.

L'activité de certains groupes d'atomes modifie celle de certains autres par l'entremise de l'éther qui les sépare. Ces modifications réciproques constituent les phénomènes physiques.

Parmi ces effets combinés : la *Lumière* est le résultat des vibrations des atomes ou molécules transmises par l'éther et dont certaines impressionnent notre rétine ; la *Chaleur*, qui influence également certains de nos nerfs, résulte du rapprochement des atomes et molécules sous l'influence de l'attraction et de l'affinité, rapprochement qui entraîne des déplacements de l'éther qui va ailleurs lutter contre l'attraction et l'affinité d'autres atomes ou molécules.

L'*Electricité*, la *Nervosité* et le *Magnétisme* sont la manifestation de l'activité intérieure des particules élémentaires. Ces groupes de phénomènes sont caractérisés par un courant d'éther alternativement reçu et expulsé par une série de ces particules. Pour les deux premiers groupes, le courant est établi par un afflux calorique du fluide éthéré, qui s'échappe ensuite pour produire les effets ordinaires de la chaleur. Quant au magnétisme, la cause du courant est encore inconnue. Il est circulaire, et l'éther ne paraît ni y entrer ni en sortir; dans certains corps, il est indéfiniment continu.

Tous les agrégats matériels sont susceptibles de présenter les phénomènes lumineux, calorifiques et électriques, avec une intensité variable; mais la nervosité et le magnétisme ne se manifestent que dans certains corps d'une composition chimique plus ou moins compliquée.

Le mouvement de translation des atomes et molécules produit la tension des gaz dans un espace clos. C'est à lui également qu'est dû le mélange des gaz et vapeurs, et celui de ceux d'entre les liquides qui éprouvent une certaine affinité les uns pour les autres. La cohésion des solides immobilise les particules matérielles; néanmoins, malgré cette gêne extrême, elles arrivent quelquefois, sinon à se déplacer, tout au moins à changer de direction, comme nous l'avons signalé à propos de la cristallisation du soufre. Mais les mouvements si énergiques de ces innombrables atomes et molécules ne sont pas anéantis par leur tassement plus ou moins violent, et nous verrons bientôt quel rôle important joue leur résultante dans la mécanique céleste.

Tels sont les phénomènes naturels considérés en eux-mêmes, abstraction faite des résultats qu'ils ont produits en constituant l'Univers, et dont la connaissance et la juste appréciation sont dues aux expérimentations des physico-chimistes.

Cet exposé nous permet de juger en connaissance de cause toutes les théories qui ont été émises dans la série des siècles sur la nature des choses. Il serait oiseux de réfuter toutes les vieilles conceptions *à priori* qui n'ont rien de scientifique; je m'arrêterai seulement sur celles qui ont encore actuellement cours dans la science.

Pour un grand nombre de physiciens, tous les phénomènes que l'on observe dans l'Univers sont dus à l'*Energie*, espèce d'abstraction dynamique, qui, une dans son essence mais multiple dans ses formes, met en action la matière purement passive. Cette conception, plus philosophique que scientifique, s'appuie sur des faits la plupart incontestables, mais dont l'interprétation est fausse.

Il est vrai que la chaleur peut se transformer en électricité et celle-ci redevenir chaleur ; de même pour la nervosité. Il est également vrai que la chaleur, soit d'emblée, soit après sa transformation momentanée en électricité, peut produire la lumière ; mais l'inverse n'a jamais lieu : la lumière ne produit pas directement la chaleur. Je dis directement, parce qu'on pourrait m'objecter que les vibrations lumineuses, en favorisant la combinaison du chlore et de l'hydrogène, développent de la chaleur. Or, dans ce cas, elles agissent comme cause occasionnelle ; la cause efficiente est l'affinité.

La chaleur est donc toujours le phénomène primordial et elle est toujours le résultat de la concentration des atomes ou molécules sous l'influence, soit de l'attraction, soit de l'affinité, qui sont des modes d'activité de la matière.

On prétend encore prouver la théorie de l'unité de l'Énergie par ce fait que tout mouvement, qui a la chaleur pour origine, reproduit de la chaleur quand on l'anéantit. En effet, si un gaz est dilaté dans des conditions telles qu'il déplace un corps solide, théoriquement l'obstacle *qui arrêtera ce déplacement* sera comprimé suffi-

samment pour dégager une quantité de chaleur capable de dilater dans les mêmes proportions une quantité de gaz égale à la première. Mais j'ai démontré que toute dilatation d'un corps est due à la pénétration dans ses intervalles moléculaires d'une certaine quantité d'éther, chassée d'une autre région de l'espace. Dans la première partie de l'expérience, c'est l'affinité qui dégage la chaleur ou l'éther, et, dans la seconde, c'est une compression mécanique ; ce n'est donc pas la même chaleur ou le même éther qui reparaît. Il y a succession de phénomènes analogues et rien de plus.

De ce que l'électricité peut rendre exactement la quantité de chaleur qui l'a produite et qu'en théorie un mouvement anéanti doit mettre en liberté le nombre de calories qui l'a déterminé, on a cru pouvoir conclure que, pas plus que la matière, l'énergie ne se crée ni ne se perd. Mais, même en admettant l'hypothèse de l'énergie, cette affirmation est inexacte.

En effet, que devient cette quantité énorme que le soleil répand autour de lui et dont la terre n'arrête au passage que la *demi-milliardième partie*, et l'ensemble des planètes et de leurs satellites, la deux cent vingt-sept millionième? Ajoutons que, de cette fraction si minime, notre globe perd la plus grande quantité par le rayonnement nocturne et hibernal.

On vient nous dire que les végétaux emmagasinent cette énergie, et qu'après des milliers de siècles écoulés, nous retrouvons dans la houille celle que les plantes des temps primaires avaient accumulée. On va même jusqu'à reconnaître, dans les matières colorantes tirées du charbon de terre, les couleurs de l'arc-en-ciel de l'époque carbonifère. Tout cela fait bien en littérature, mais la science ne s'arrête pas à de semblables assertions.

Affirmer qu'il y a des relations directes entre les réac-

tions chimiques qui ont fixé le carbone sur les végétaux de l'époque houillère et celles qui le brûlent dans nos foyers est aussi exact que de prétendre que, lorsqu'un objet, acheté il y a cinquante ans une certaine somme, est revendu aujourd'hui le même prix, l'argent payé est le même que l'argent reçu, et qu'il est resté emmagasiné pendant un demi-siècle dans l'objet en question.

Certains autres physiciens admettent que tous les phénomènes de la nature ne sont qu'une succession de mouvements divers se transformant indéfiniment les uns dans les autres. Mais, quels sont ces mouvements ? La plupart restent dans le vague à ce sujet; quelques-uns prétendent que tout se réduit à un mouvement vibratoire. Parce qu'il est bien établi que la lumière en est le résultat, par un besoin insensé de simplification, on ne voit que vibrations partout. C'est toujours le même système de déductions à priori, que nos savants ont puisé dans l'enseignement de la philosophie.

Enfin, mon manuscrit était déjà entre les mains de l'imprimeur, lorsque j'appris qu'un physicien bien connu, M. G.-A. Hirn, venait de faire paraître un ouvrage ayant pour titre : *Constitution de l'espace céleste* (1), et qu'il y était, disait-on, démontré que les phénomènes physico-chimiques sont dus, non à la matière pondérable, mais à un élément dynamique répandu dans l'espace. Comptant y trouver les résultats de nouvelles observations et expérimentations, je m'empressai de me le procurer. Ma déception a été grande lorsque je reconnus qu'il s'agissait, non d'un travail scientifique pur, mais simplement d'une dissertation philosophico-mathématique dirigée contre le positivisme et le matérialisme.

Je n'ai pas à défendre les positivistes ; le lecteur sait ce

(1) *Gauthier-Villars et fils*, in-4° de 350 pages, 1889.

qu'il faut penser de ces nihilistes de la science, qui exercent actuellement une influence si fâcheuse, particulièrement sur les savants français, en les poussant à se désintéresser des inductions légitimes que l'on est en droit de tirer des observations et expérimentations anciennes et récentes. Mais je ferai observer à M. Hirn que le matérialisme scientifique n'est pas une secte philosophique ; que les savants qui professent cette opinion ne l'admettent pas comme un principe, un axiome, mais comme une induction tirée de l'observation et de l'expérimentation, et qu'ils sont prêts à l'abandonner si de nouvelles observations, de nouvelles expérimentations, authentiques et bien et dûment contrôlées, viennent en montrer l'inanité. Les matérialistes ne sont donc pas *forcés* d'admettre, comme il le prétend, que l'espace intersidéral est rempli par la matière pondérable plus ou moins raréfiée.

Pour l'honorable physicien de Colmar, l'Univers comprend « trois natures d'existences différentes : l'Élément matière, l'Élément dynamique ou de relation et l'Élément animique ou vital. Des rapports des deux premiers éléments dérive tout l'ensemble des phénomènes physiques. De l'intervention du troisième, divisible en espèces et en unités, relève tout l'ensemble des phénomènes du monde organique ou vivant ». Il a, paraît-il, « exposé ces faits dans leur ordre logique, avec tous les développements nécessaires, dans l'*Analyse élémentaire de l'univers* (1868) (1) ».

En science, il ne s'agit pas d'exposer une opinion, mais de faire voir qu'elle découle d'observations et expérimentations exactes et précises. M. Hirn démontre, il est vrai, avec un grand luxe de calculs, que la présence dans l'espace intersidéral de la matière pondérable, diffuse, im-

(1) *Loc. cit.*, p. IX.

mobile ou en mouvement, amènerait des perturbations sans nombre dans les révolutions des corps célestes, et que l'élément qui la remplace doit pénétrer dans les intervalles des atomes et molécules, qui sont limités. Cette démonstration était faite déjà depuis longtemps. Ce qu'il aurait fallu prouver, c'est que cet élément de remplissage est réellement dynamique, c'est-à-dire actif; qu'il ressort d'observations et d'expérimentations que c'est lui qui produit l'attraction et l'affinité, et force les atomes à entrer en vibration et à se transporter dans l'espace. Ces preuves, l'auteur ne les fournit pas, et pour cause; il se contente de l'affirmation que j'ai citée plus haut.

Nous sommes donc forcés de persister dans notre induction première. La matière n'est pas inerte; elle seule est active; c'est à elle seule qu'il faut attribuer, dans l'état actuel de la science, tous les phénomènes de l'Univers. La présence, dans l'espace intersidéral et dans les intervalles moléculaires, d'une substance inerte, impondérable, modifie cette activité et donne naissance aux phénomènes lumineux, calorifiques, électriques, magnétiques et nerveux. Nous donnons à cette substance, bien réellement matérielle, puisqu'elle impressionne directement nos sens, le nom d'Éther, parce qu'il est le plus ancien et que, comme tel, il est compris de tout le monde.

Certainement nous ignorons comment et pourquoi les atomes et molécules vibrent, se transportent dans l'espace et sont entraînés les uns vers les autres, pour former soit des combinaisons, soit de simples agglomérations. Libre au savant mathématicien de Colmar de l'attribuer « à une Intelligence, douée de liberté et de volonté illimitée, qu'un enfant comprend, paraît-il, et mieux qu'un philosophe ». Pour nous, nous prenons ces faits incontestables tels qu'ils se présentent, attendant que l'observation et l'expérimentation *puissent nous* les expliquer.

Quant à « l'Elément animique ou vital », nous avons vu, en traitant de la nervosité, ce qu'il fallait en penser, et notre étude des phénomènes biologiques fera encore mieux ressortir son inanité.

Nous aurons, du reste, l'occasion de revenir plus loin sur le livre de M. Hirn en parlant du soleil.

LIVRE II

LES PHÉNOMÈNES PHYSICO-CHIMIQUES DANS L'UNIVERS

Nous venons d'exposer les phénomènes physico-chimiques que peuvent présenter les matériaux qui constituent l'Univers, phénomènes considérés en eux-mêmes, en dehors de tout résultat possible. Ce sont ces résultats que nous allons maintenant étudier.

Nous entrons donc dans le domaine des faits. Ces faits sont innombrables, continus, enchaînés les uns aux autres, s'engendrant les uns les autres, s'entre-croisant dans tous les sens et se détruisant plus ou moins complètement. Il en résulte un ensemble que nous avons intérêt à connaître, comme je l'ai démontré au début de cet ouvrage.

Ces faits qui nous intéressent, malgré leur nombre incalculable, se groupent naturellement en quatre ordres : les fait srelatifs : 1° au monde sidéral en général ; 2° au système solaire dont nous faisons partie ; 3° à la terre que nous habitons, et 4° aux êtres organisés, dont nous sommes les principaux représentants.

Dans l'exposition rapide que nous allons faire de ces quatre groupes de faits, nous allons montrer que l'observation et l'expérimentation permettent d'induire que tous sont le résultat des mouvements dont les matériaux constitutifs de l'Univers sont le siège.

Pour l'intelligence de ce qui va suivre, il ne faut pas perdre de vue un seul instant ces phénomènes ; nous allons donc les énumérer *encore une fois*.

Les atomes et molécules dont est composée la matière, sont animés de deux mouvements individuels : mouvements de translation et de vibration ; de plus, l'éther qui entre dans leur constitution, peut s'y accumuler en certaine quantité et en être expulsé en partie par leur activité pour ainsi dire consciente. Relativement les uns aux autres, par les mouvements d'attraction et d'affinité dont ils sont également doués, atomes et molécules tendent sans cesse à se grouper diversement.

L'éther, absolument passif, est d'une docilité admirable. Grâce à sa mobilité extrême, il n'entrave en rien les atomes et molécules dans leur mouvement de translation, transmet les vibrations et se déplace rapidement sous l'influence de l'attraction et de l'affinité.

Enfin, l'action combinée de la matiere active et de l'éther passif produit la lumière, la chaleur, l'électricité, le magnétisme et la nervosité.

CHAPITRE PREMIER

LE MONDE SIDÉRAL.

Nous avons à considérer, dans le monde sidéral, l'*Espace*, l'*Éther* et la *Matière*.

L'espace est infini. Il est vraiment surprenant que cette idée si simple, si naturelle, je puis le dire, ait paru mystérieusement étrange aux anciens et à bien des modernes, au point qu'ils en ont fait une des qualités de l'être divin. Si l'infini, appliqué à l'espace, est difficile à comprendre, il l'est, à plus forte raison, lorsqu'il s'agit d'un être quelconque. Qu'est-ce que la sagesse, la bonté et la miséricorde infinies d'un dieu qui fait brûler pendant l'éternité les gens qui ne pensent pas comme lui ? Du reste, cette épithète n'est là que pour dissimuler l'anthropomorphisme de cette invention humaine. Mais laissons là les élucubrations de ces cerveaux alimentés uniquement par la contemplation intérieure, de ces songe-creux, suivant l'expression vulgaire si cruellement juste. Disons simplement que l'espace est infini, parce qu'il ne peut avoir de limite. Supposons le monde sidéral enfermé dans une sphère creuse : si les parois de cette sphère sont limitées, au delà il y a encore l'espace infini ; si elles ne le sont pas, ce sont elles qui sont infinies.

L'éther doit remplir tout l'espace.

En effet, n'obéissant ni à l'attraction ni à la cohésion, il doit se répandre partout où la matière offre une solution de continuité ; il ne présente de résistance que dans les espaces limités, comme les intervalles moléculaires qu'il peut dilater. On ne peut concevoir une limite au delà de

laquelle il n'y aurait plus d'éther. Par quoi serait-il retenu, puisqu'il n'a pas de cohésion ?

Dans les espaces intersidéraux, l'éther joue un rôle insignifiant. Par son défaut de consistance, il laisse librement circuler les astres et n'entrave pas plus leurs mouvements que ceux de translation des atomes dans les gaz. Il transmet simplement les vibrations, lumineuses ou non, et les ondulations calorifiques.

Les philosophes et les astronomes mathématiciens ont beaucoup disserté sur la température de l'espace. On se demande vraiment pourquoi. En effet, quelle que soit la théorie que l'on admette au sujet de la chaleur, celle des vibrations ou celle que nous avons développée, et qui a pour base l'attraction et l'affinité déplaçant l'éther, il paraît évident que, là où la matière fait défaut, il ne peut y avoir de corps chauds ou froids. Celle de M. Hirn, qui attribue tous les phénomènes dont la matière est le siège, et spécialement la chaleur, à l'activité d'un élément dynamique remplissant l'espace, serait la seule d'après laquelle on pourrait admettre qu'il y règne un état calorique quelconque. Or, cet auteur dit en propres termes : « L'espace interstellaire étant vide de matière pondérable à l'état diffus, ne peut avoir de température proprement dite (1). » Néanmoins, ce qui prouve que ses idées sont peu nettes à ce sujet, il ajoute qu'elle ne doit pas s'élever au-dessus du zéro absolu, soit — 273 degrés centigrades. Inutile d'insister.

Supposons que, par impossible, un thermomètre à l'alcool soit fixé au milieu de l'espace, dans le cône d'ombre de la terre, à l'abri du flot calorifique d'éther produit par le soleil; qu'arrivera-t-il ? L'attraction mutuelle des atomes des divers matériaux qui le composent, n'étan

(1) *Constitution de l'espace* céleste, p. 293.

lus contre-balancée par la pénétration de l'éther qui 'échappe de corps environnants, chacun de ces matériaux parviendra rapidement à son maximum de condensation, et l'alcool deviendra solide. Mais ce sont là des phénomènes intrinsèques, qui ne fournissent aucune indication sur l'état du milieu ambiant et ne peuvent donner une idée de sa température.

On m'objectera peut-être que les atomes d'azote et d'oxygène, qui se trouvent aux confins de notre atmosphère, restent à l'état gazeux, malgré la proximité de l'espace.

A cela je pourrais répondre que la masse de ces atomes est sans cesse traversée par le flux et le reflux d'éther mis en mouvement, le jour par l'agitation de la masse solaire, et la nuit par le retrait des corps de la surface terrestre. Mais la cause principale du maintien de l'état gazeux, c'est le peu d'attraction que ces atomes ont les uns pour les autres et pour la masse de la planète. En effet, pour arriver à liquéfier ces gaz, dits autrefois permanents, il faut suppléer à l'insuffisance de l'attraction en les soumettant à une pression de plusieurs centaines d'atmosphères, et en faisant un puissant appel d'éther par un mélange réfrigérant, tel que le chlorure de calcium en poudre et la glace en neige; ces deux corps, qui ont l'un pour l'autre une affinité très intense, passent à l'état liquide en faisant baisser la température ambiante jusqu'à — 51 degrés. Il est donc manifeste que l'oxygène et l'azote de l'air ne se solidifieront que lorsqu'ils entreront dans la composition de corps dont les molécules seront soumises à l'attraction d'une manière plus efficace.

Un mot sur ce fameux zéro absolu, qui, suivant certains philosophes, supprimerait, s'il se généralisait, toute distinction entre les atomes et les molécules (!). Il représente, d'après les physiciens, la température qui correspondrait

Ainsi, une planète est influencée par l'attraction et le mouvement de translation du soleil et des autres corps du système qui constitue son milieu. Un quelconque des groupes de molécules minérales qui composent le globe terrestre, est soumis à l'action attractive de la masse, aux affinités chimiques des corps environnants et à la quantité d'éther ou de chaleur qui s'en dégage. Viennent ensuite les phénomènes électriques et magnétiques généraux et particuliers, enfin la lumière et la chaleur du soleil. Son milieu est donc très actif et très complexe. Il est le même pour tout être vivant; celui-ci subit en outre l'intervention directe ou indirecte de la nervosité qui anime les autres végétaux ou animaux du voisinage.

L'influence du milieu est donc toujours et partout d'ordre physico-chimique.

§ 1. LES NÉBULEUSES.

Leur constitution ; leur évolution ; leur température.

Il y a longtemps que les nébuleuses sont connues. C'est en se basant sur leur nature gazeuse et sur la gravitation newtonienne, que Laplace a conçu son hypothèse sur la formation des mondes. Un moment on a pu croire que cette conception grandiose allait être anéantie. En effet, la puissance des télescopes modernes a permis de constater qu'un grand nombre de ces masses, supposées gazeuses, ne sont que des amas d'étoiles dont les vibrations lumineuses se confondent avant d'arriver jusqu'à nous. Mais l'analyse spectrale est venue démontrer qu'il est des nébuleuses bien réellement composées de gaz plus ou moins raréfiés. Leur spectre, au lieu d'être continu comme celui des étoiles condensées, se distingue par un certain

nombre de raies brillantes, telles que nous en montrent les vapeurs incandescentes.

Pour que ces immenses agrégats matériels, dont certains égalent en étendue plusieurs systèmes solaires, nous apparaissent encore comme gazeux, malgré leur distance énorme, il faut que leurs atomes soient suffisamment éloignés les uns des autres pour assurer à chacun, dans leur mouvement de translation, un libre parcours analogue à celui qu'on observe dans le vide à un millionième de millimètre (expériences de Crookes). Dans ces conditions, les vibrations lumineuses se produisent avec une très grande facilité. Quoi qu'il en soit, l'attraction y manifeste déjà son influence d'une façon certaine ; en effet, quelle que soit l'irrégularité de leur forme, elles présentent des limites souvent très nettes.

Pour résoudre la question de la transformation des atomes, il y aurait grand intérêt à connaître quelle est la nature de ceux qui constituent les nébuleuses. Mais aujourd'hui, l'analyse spectrale des corps célestes, et celle des nébuleuses en particulier, n'a pas encore atteint le degré de perfection que comporte la solution de ce problème. Ce n'est qu'une question de temps.

La nébuleuse d'Orion, l'une des plus diffuses, a donné au spectroscope d'Huggins trois raies brillantes analogues à celles du spectre de l'azote. Mais la présence de ce gaz, si c'est bien lui, n'implique pas une composition complètement analogue à celle des astres que nous connaissons. L'azote est un corps simple à propriétés relativement restreintes; il ressemble à ces organismes inférieurs, qui, apparus dès l'aurore de la vie, se sont maintenus tels dans la série des âges jusqu'à nos jours. Nous verrons plus tard qu'il est entré un des derniers dans les formations géologiques. Il se pourrait donc que, malgré sa présence, les

atomes de la nébuleuse d'Orion soient encore à un des premiers stades de leur évolution.

J'ai dit tout à l'heure que les vibrations lumineuses devaient se produire facilement dans ces conditions de raréfaction; néanmoins, il est certain que quelques nébuleuses disparaissent à différentes reprises pour reparaître ensuite: telles sont celles du Dragon et du Taureau. Il se passe donc en elles des modifications qui indiquent une élaboration évolutive de la matière. Du reste, celles où elle est le moins condensée présentent des variations dans leur forme, qui prouvent une agitation considérable de leurs éléments.

Bien qu'on n'ait pas encore pu calculer la vitesse de leur marche, ces masses de matière cosmique se meuvent dans l'espace, sans doute à la manière de ces essaims d'insectes, qui, volant sans cesse dans tous les sens, changent néanmoins de place dans une direction qui est la résultante des mouvements individuelles. J'appelle toute l'attention du lecteur sur la cause de ce déplacement des nébuleuses, parce qu'il est le point de départ du mouvement de translation de tous les corps célestes.

Si un grand nombre de nébuleuses ont des formes indécises, sans trace d'agglomération de leurs éléments, il en est d'autres où l'attraction a déjà fait sentir son influence d'une manière manifeste. Ces commencements de condensations offrent des formes très variées : les unes sont disposées en rayon, d'autres sont lenticulaires, elliptiques, etc.; enfin, il en est qui représentent les diverses phases par lesquelles a dû passer le système solaire pour arriver à l'état actuel. L'une des nébuleuses des Chiens de chasse a une forme sphéroïdo-lenticulaire avec une condensation centrale commençant un foyer solaire; celle du Verseau présente une sphère avec un anneau vu par sa

tranche ; enfin, dans celle de Pégase, on voit une sphère centrale, véritable soleil, entourée de cinq zones rompues, de plus en plus excentriques et présentant chacune à leur partie moyenne un commencement de condensation.

Il existe aussi un certain nombre de nébuleuses doubles à densité centrale très accentuée, dont quelques-unes manifestent un lent mouvement orbital l'une autour de l'autre et un déplacement relatif dans l'espace.

Ces dispositions variées indiquent bien que la formation des astres n'a pas lieu suivant un type uniforme, et que les prétendues lois qui régissent l'Univers, sont le produit de l'imagination des inventeurs de divinités anthropomorphes.

Les nébuleuses à noyaux simples ou multiples, donnent des spectres continus ou des spectres disjoints, suivant le point sur lequel le spectroscope est braqué. Il indique chez elles, la présence de l'azote, de l'hydrogène et de quelques autres corps simples plus ou moins bien définis.

Les nébuleuses sont donc bien des astres ou des systèmes d'astres en préparation.

On s'est demandé quelle pouvait être la température de celles d'entre elles qui ne présentent encore aucun point notable de condensation. La théorie de la chaleur que nous avons longuement exposée rend la question très facile à résoudre. En effet, du moment que, dans une masse gazeuse, l'attraction et l'affinité sont impuissantes à rapprocher les atomes, il est évident que l'éther reste immobile dans leurs intervalles et ne tend pas à envahir ceux des corps placés à proximité; il reste à l'état latent. Il doit en être ainsi dans ces nuages de matière cosmique.

Cependant les physiciens, partisans de la théorie des vibrations calorifiques, tiennent cette température pour considérable, et les calculs de M. Hirn ont fourni le chiffre

colossal de 5 millions de degrés; mais les éléments de ces sortes d'opérations étant purement conjecturaux, les résultats qu'elles fournissent n'ont aucune valeur réelle. Les seules données qui pourraient étayer cette opinion sont l'état gazeux de la matière et les vibrations lumineuses de ses atomes.

En ce qui concerne l'état gazeux, si raréfié qu'il soit, nous ne pouvons y trouver une preuve de quelque valeur, car il est permanent, et nous savons que ce caractère exclut toute température élevée, témoin la baisse progressive du thermomètre au fur et à mesure qu'on s'élève dans les couches supérieures de l'atmosphère.

Reste à expliquer la production des vibrations lumineuses. Certainement, à la surface de notre planète, elles ne se manifestent pas dans les gaz dits permanents; mais il n'est pas démontré que, si la force attractive des gaz lumineux, ceux des métaux par exemple, se trouvait tout à coup suffisamment réduite pour leur permettre de se mélanger à l'air atmosphérique, ces gaz cesseraient pour cela d'être lumineux. Rien ne prouve qu'il y ait une corrélation directe entre l'intensité de l'attraction et celle des vibrations. Il n'est donc pas impossible qu'un grand nombre des atomes de la nébuleuse soient animés d'un mouvement vibratoire susceptible d'impressionner notre rétine, par le seul fait de leur raréfaction, qui, comme je viens de le dire, en favorise la production.

Je sais bien que l'azote qu'on y a signalé n'est pas lumineux dans l'air le plus raréfié. Mais l'identité, je le répète, n'est pas complètement démontrée, et le serait-elle, qu'il se pourrait que les atomes de l'azote de la nébuleuse ne soient pas entièrement semblables à ceux de l'azote de l'air atmosphérique, car c'est dans cette nébuleuse que la matière doit le plus s'éloigner de celle que

nous pouvons manipuler, si la théorie transformiste est exacte. En tout cas, les calculs de la mathématique la plus transcendante ne peuvent résoudre le problème, c'est seulement de l'observation et de l'expérimentation qu'on doit attendre des éclaircissements.

A propos de l'évolution des atomes, je dois citer les travaux récents de M. Crookes, qui viennent de faire faire un pas important à cette théorie (1). Il a prouvé expérimentalement que certains métaux, comme l'yttrium, sont composés d'atomes qui, bien que semblables d'une manière générale, diffèrent les uns des autres sous certains points de vue. Ces corps élémentaires sont donc formés d'un nombre variable de sous-éléments ou de méta-éléments, suivant l'expression du savant anglais. Ces différences, dont on ignore la cause, peuvent être rapprochées des modifications que les agents physiques font subir par exemple au phosphore et au soufre, et qui consistent dans l'apparition de nouvelles propriétés et la disparition de certaines autres, sans que cependant il y ait transmutation complète. Ainsi, tout porte à croire que l'*espèce*, dans les êtres minéraux, n'est pas plus fixe qu'elle ne l'est dans les êtres organisés, comme nous le démontrerons plus loin.

§ 2. LES ÉTOILES.

Distance; groupement; mouvement, ses causes; composition chimique. — Étoiles variables. — Étoiles doubles, triples, etc. — Conséquences possibles de la rencontre de deux corps célestes.

Les étoiles, ces corps célestes lumineux par eux-mêmes, sont pour ainsi dire innombrables, et les distances qui

(1) *Éléments et méta-éléments*, chez Gauthier-Villars et fils, 1888.

les séparent, se mesurent, comme nous l'avons dit, par dizaines et centaines de millions de lieues. Il en est qui sont tellement éloignées de nous que leur lumière doit mettre des siècles à nous parvenir, malgré une vitesse de plus de 300 000 kilomètres par seconde. Encore il ne s'agit là que d'une appréciation générale, qui, n'étant basée le plus souvent que sur leur intensité lumineuse, rend toute mesure précise impossible. De plus, leur volume variant à l'infini, les plus petites peuvent nous paraître à des distances énormes, et les plus grosses sensiblement rapprochées de nous, alors que l'inverse est peut-être la vérité.

La disposition générale des étoiles est très difficile à apprécier à cause des erreurs de perspective. Aussi ne faut-il accorder, à ce point de vue, aucune importance à ces dessins variés qu'elles paraissent représenter, et que l'on nomme *constellations*. Les astres qui les composent n'ont le plus souvent aucune relation de situation. Ces constellations sont des survivances des erreurs de l'antiquité, qui n'ont de valeur aujourd'hui que comme points de repère pour les recherches et les désignations astronomiques.

En réalité, les étoiles sont groupées par amas plus ou moins nombreux, d'une forme approximativement lenticulaire. Il en est qui paraissent décrire des lignes parallèles dessinant des spirales concentriques. D'autres, comme ceux du Toucan et du Centaure, nous ont donné longtemps l'illusion d'une nébuleuse. Mais le plus important de tous est la voie lactée, dont nous faisons partie comme presque toutes les étoiles des premières grandeurs. Notre soleil n'est pas très éloigné de son centre ; aussi paraît-elle former autour de nous une zone plus ou moins compacte.

Toutes les étoiles donnent un spectre continu ; mais il ne s'en suit pas pour cela qu'elles soient toutes au même

degré de concentration. C'est encore à l'analyse spectrale que nous devons les quelques données que nous possédons à ce sujet. Nous les indiquerons à propos de leur composition chimique et de leur lumière.

Ces astres, que si longtemps on a qualifiés de fixes, se meuvent dans toutes les directions avec des vitesses différentes, mais toujours considérables. Si leur déplacement est à peu près insensible pour nous, c'est que leur éloignement est véritablement formidable. Ainsi Arcturus du Bouvier, qui se déplace de trois secondes par an, c'est-à-dire trois fois la dix-huit cent soixantième partie du diamètre apparent du soleil, à raison de [illegible] lieues par jour, se trouve éloigné de nous de [illegible] millions de lieues. Disons toutefois que ces mesures, relativement exactes, sont entachées d'erreur, en plus ou en moins suivant la direction des étoiles, par le déplacement du soleil dont il n'est pas tenu compte. Quoi qu'il en soit, en quarante ou cinquante mille ans, l'aspect des constellations doit changer d'une manière très prononcée.

Les calculs astronomiques ne sont applicables qu'au mouvement des étoiles qui se déplacent dans une direction perpendiculaire à l'axe visuel. Pour celles qui se rapprochent ou s'éloignent de nous parallèlement à cet axe, leur vitesse est indiquée par le spectroscope. Nous avons exposé cette méthode dans notre introduction (voir p. [illegible]), et indiqué les principaux résultats qu'elle a déjà donnés.

Préoccupé de l'idée que l'Univers a un architecte qui, par des lois immuables, y maintient une admirable harmonie, on a recherché si tous ces déplacements présentaient une certaine coordination ; mais on n'est arrivé à aucun résultat ; ils sont complètement indépendants les uns des [illegible] Mais quelle en est la cause ?

Nou[illegible]ntré que les [illegible] devaient se

mouvoir dans l'espace suivant une direction qui est la résultante de tous les mouvements de translation de leurs atomes. Bien que ces mouvements aient lieu dans toutes les directions, ils ne peuvent se neutraliser exactement et la masse doit se déplacer dans un sens ou dans l'autre, avec une vitesse variable, proportionnelle au nombre d'atomes qui suivent la direction prédominante.

Dans les étoiles condensées, les atomes sont groupés en solides, liquides et gaz, et leur libre parcours est nul dans les deux premiers états, presque nul dans le troisième. Mais la force de translation dont ils sont animés n'en existe pas moins, et c'est l'agglomération qui doit en profiter. Certainement, comme dans les nébuleuses, un grand nombre de ces mouvements sont neutralisés ; néanmoins il y en a beaucoup qui ne le sont pas, et qui imposent à la masse un déplacement dans leur direction. Un astre, si condensé qu'il soit, doit donc toujours progresser dans un sens ou dans un autre, et sa rapidité varier proportionnellement au nombre de mouvements restés libres.

La cause du déplacement des étoiles dans l'espace est donc légitimement induite de l'observation du mouvement de translation inhérent aux atomes dont elles sont composées. Leur vitesse s'induit de la même observation. Nous savons que les atomes se meuvent à raison de 500 à 2 000 mètres par seconde ; il est donc tout naturel qu'un corps céleste, composé d'une quantité innombrable d'atomes, puisse atteindre une vitesse variant entre 30 et 80 kilomètres pendant le même espace de temps. Si j'étais mathématicien, je pourrais, par de savants calculs algébriques, établir les rapports qui *peuvent* exister entre le mouvement de translation d'un astre et la résultante de ceux de ses atomes ; mais comme les bases numériques de ces opérations feront encore longtemps défaut, ce travail stérile

ne ferait que donner un cachet pédantesque à mon exposé.

A propos du système solaire, nous verrons d'autres complications surgir et s'expliquer de la même manière.

La composition chimique des étoiles, ou du moins de l'atmosphère qui les environne, est mieux connue que celle des nébuleuses. La présence du sodium et du magnésium a été signalée dans la plupart; puis viennent, dans l'ordre de fréquence, le calcium et le bismuth. L'hydrogène manque dans quelques-unes; mais c'est un fait rare. Enfin, on y a trouvé parfois le fer, le mercure et l'antimoine. Ces études, du reste, sont loin d'être complètes.

Une question se pose ici tout naturellement. Pourquoi, dans ces masses gazeuses péristellaires, comme dans les nébuleuses, tous les corps simples se présentent-ils isolés, sans aucune apparence de combinaison? La réponse en est facile. Il est vrai que l'attraction, ou mieux la cohésion, y est très faible. Mais la quantité d'éther interposée éloigne trop les atomes les uns des autres pour que l'affinité puisse entraîner leur agglutination plus ou moins intime.

La chaleur, qui dans nos laboratoires produit des combinaisons, les défait également lorsqu'elle est poussée au delà de certaines limites, et nous savons qu'elle ne produit ce dernier résultat qu'en agrandissant les intervalles moléculaires par un apport continu d'éther. La seule différence, c'est que, dans les nébuleuses et les atmosphères péristellaires, l'éther existe primitivement au lieu d'y être introduit consécutivement. Ce n'est que par les progrès de l'attraction, qui expulse l'éther et rapproche les atomes, que les combinaisons deviennent possibles.

La composition chimique des noyaux condensés des étoiles sont peut-être en relation avec celle de leur atmosphère; mais nous possédons peu de données précises sur ce sujet. Les voici telles quelles.

Nous avons vu que tout corps solide ou liquide, à l'état incandescent, émet la synthèse des diverses vibrations lumineuses dont ses atomes sont animés. Ils sont groupés le plus souvent en sept catégories, qui vibrent chacune une des couleurs du spectre : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange et rouge. Mais il peut arriver que certaines catégories soient plus nombreuses ; alors la lumière n'est plus parfaitement blanche, elle prend une teinte en rapport avec la catégorie prédominante. Les expériences de laboratoire en présentent quelques exemples ; mais, dans les étoiles, ce fait ressort d'une manière bien plus prononcée.

Il en est qui émettent des teintes plus ou moins franches de bleu, de vert, de jaune et de rouge. Toutes donnent des spectres différents, et la couleur spéciale de chaque étoile concorde avec la manière dont la lumière est répartie dans chaque région de son spectre. Or, il se pourrait que la coloration soit due à la prédominance d'un corps simple quelconque. C'est à l'expérimentation à élucider cette question intéressante.

Voici ce que nous savons au sujet du degré de condensation de ces astres.

Le Père Secchi, à Rome, a soumis au spectroscope plus de trois cents étoiles des plus brillantes, et de ce travail considérable est résulté un classement des plus intéressants. Les unes d'une teinte blanc jaunâtre, comme celle de notre soleil, donnent comme lui un spectre où les raies d'absorption fourmillent : leur atmosphère contient donc encore une foule d'éléments non condensés. Le spectre des étoiles blanches, comme Sirius, Vega et autres, ne présente plus que les raies de l'hydrogène, du sodium et du magnésium : leur atmosphère est par conséquent singulièrement réduite ; mais leur noyau condensé produit encore dans toutes ses parties des vibrations lumineuses très

intenses. Une troisième catégorie, de teinte orangée, montre des lacunes obscures qui doivent représenter un affaiblissement de certains groupes chromatogènes, lacunes que l'on rencontre spécialement dans la région du bleu ; néanmoins les raies d'absorption n'y font pas complètement défaut. Enfin, les étoiles rouges offrent un spectre des plus appauvris ; elles sont sans doute à une période voisine de leur extinction.

Au point de vue photochimique, ces diverses catégories présentent des différences faciles à prévoir : les blanches et les jaunes pâles impressionnent instantanément les plaques photographiques, tandis que les orangées et surtout les rouges nécessitent un temps de pose relativement considérable.

Passons maintenant aux étoiles variables. Parmi elles, il en est qui, ayant apparu soudain avec une grande intensité, se sont éteintes graduellement en quelques mois. D'autres présentent une périodicité dans leur variation d'éclat. Elles changent de deux à neuf grandeurs, les unes en cinq à sept jours, le plus grand nombre en quelques mois ; mais aucune périodicité exactement mesurée n'atteint deux années. Enfin, il en est qui, suivies depuis nombre de siècles par les astronomes, présentent une diminution graduelle d'intensité lumineuse qui doit coïncider avec les progrès réguliers de la concentration de leurs éléments. Cette condensation doit alterner avec des mouvements d'expansion dans les étoiles à variations périodiques. Quant aux étoiles éphémères, leur explication est encore à trouver.

Il me reste à parler des étoiles doubles, dont les nébuleuses jumelles nous ont montré l'origine. Il va sans dire qu'il ne s'agit pas ici de celles que la perspective seule rapproche, ni de celles qui, relativement, voisines suivent

une direction parallèle, mais d'astres jumeaux s'influençant réciproquement.

Généralement, l'une est plus grosse que l'autre ; cependant il en est qui paraissent sensiblement égales ; mais l'on sait ce que valent ces appréciations à des distances aussi considérables, puisqu'elles ne sont basées que sur l'intensité lumineuse. Le fait intéressant, c'est que, dans ces associations, la plus petite des deux composantes décrit autour de l'autre une courbe fermée plus ou moins elliptique. Son mouvement de translation, de rectiligne est devenu circulaire ; un lien l'attache donc à sa congénère, comme la corde de la fronde lie la pierre à la main du frondeur. Ce lien ne peut être que l'attraction. La masse des atomes qui composent le corps central attire sans cesse ceux de l'astre périphérique, et, si ces derniers devenaient immobiles, leur union se ferait avec une rapidité qui s'accélérerait en raison inverse du carré des distances. Mais cet arrêt est impossible, le mouvement des particules élémentaires étant continu et indéfini. Elles sont donc forcées de décrire un cercle fermé, tant que l'attraction centripète ne sera pas modifiée. Si elle disparaissait, l'étoile satellite reprendrait sa direction rectiligne en suivant une tangente à la courbe qu'elle décrivait; si, au contraire, la force attractive augmentait, la courbe se transformerait en une spirale dont le nombre des tours serait en proportion inverse de cette augmentation, et la fusion des deux masses se produirait.

Nous avons vu, en traitant des phénomènes physico-chimiques, que l'attraction était réciproque entre les atomes comme entre les masses agglomérées qu'ils forment, mais que, dans cette dernière circonstance, elle était proportionnelle à ces masses. Il en résulte donc que l'astre central a nécessairement une masse plus considérable que

on satellite, mais aussi que le lien qui les unit et qui entrave la progression rectiligne de ce dernier, est représenté ar la somme des attractions qu'ils exercent l'un sur l'autre. es étoiles ainsi en relation sont quelquefois au nombre le trois, quatre et même plus. Ce sont alors de véritables ystèmes solaires dont les planètes sont encore à l'état tellaire.

Le mouvement de translation des atomes, et par conséquent celui des corps qu'ils forment, est absolument indépendant du mouvement d'attraction, qui peut seulement en modifier la direction, comme nous venons de le voir, et la rapidité, comme nous le verrons plus loin. Nous ne devons donc pas être surpris de voir l'étoile maîtresse continuer sa progression dans l'espace, entraînant avec elle sa compagne qui, bien qu'éloignée, fait corps avec elle de par l'attraction.

Ces considérations sont d'une grande importance en astronomie, et nous en verrons de nombreuses applications à propos du système solaire.

On a calculé d'une manière précise la durée des révolutions de trente et quelques étoiles doubles, qui sont désignées par la lettre ou le chiffre du rang qu'elles occupent dans les constellations. Cette durée varie entre quatorze ans et mille ans.

Nous avons dit que les nébuleuses jumelles, que l'on a reconnues comme gravitant l'une autour de l'autre, étaient la forme première des étoiles doubles; mais toutes ces dernières n'ont sans doute pas la même origine. Il en est qui doivent être nées dans la même nébuleuse et former des systèmes analogues à celui de notre soleil. Dans cette hypothèse, l'étoile satellite serait une planète encore à l'état incandescent.

Lorsqu'on voit ces innombrables engins, d'une si ter-

rible puissance, parcourir notre ciel étoilé avec une rapidité vertigineuse, on est naturellement porté à se demander s'ils ont des chances de se rencontrer, et quels seraient les résultats de ces collisions formidables. La perspective de semblables cataclysmes frappe surtout notre imagination, lorsque nous pensons aux innombrables chocs que subissent dans un gaz, les trillions d'atomes qui s'y agitent avec un mouvement de translation dont la vitesse est de même ordre que celle des étoiles.

Disons d'abord que la multitude de ces atomes de l'univers se démène dans un espace si étendu, que les particules élémentaires de la matière se trouvent infiniment plus à l'étroit dans le vide produit à un millionième de millimètre. Le parcours des étoiles peut donc être regardé comme complètement libre. Néanmoins, comme la direction de leur course est absolument indéterminée, nous pouvons supposer qu'un rapprochement et même une rencontre sont possibles. Voyons donc quelle en pourrait être la conséquence, en nous basant, dans cette hypothèse, sur les propriétés bien connues de la matière.

Si deux étoiles se rapprochent dans leur course, de manière que leur attraction réciproque soit suffisante pour modifier leur direction, trois conditions peuvent se présenter. Si la puissance attractive est inférieure à la vitesse de leur mouvement, leur ligne de parcours en sera simplement infléchie, puis elles continueront leur marche indépendante. Si, au contraire, les deux forces sont égales, la plus petite se mettra immédiatement à circuler autour de la plus grosse, et celle-ci continuera sa course en l'entraînant avec elle. C'est peut-être ainsi qu'un certain nombre d'étoiles doubles se sont constituées.

Mais la somme des deux attractions peut être supérieure aux vitesses, et alors ce ne sera plus un cercle, mais

une hélice que décrira l'astre détourné de sa route, et un choc deviendra inévitable. Ce choc sera encore plus formidable s'il a lieu directement par la rencontre des lignes de parcours.

Depuis l'invention des chemins de fer, une expérience, malheureusement trop souvent répétée, a pu nous donner quelque idée des résultats de la rencontre de deux corps animés de deux forces puissantes agissant en sens contraire. La tendance générale est la pénétration réciproque, et la résistance est la cohésion. Si les éléments atomiques étaient suffisamment désagrégés, les deux corps pourraient se traverser sans secousse, le plus dense coupant l'autre en deux ; mais le choc sera d'autant plus violent que les atomes seront dans une union plus intime.

Le résultat est donc, d'une manière générale, une diminution de la cohésion des particules matérielles et une augmentation des espaces qui les séparent, et dans lesquels l'éther se précipite avec plus ou moins de violence. Nous traduisons ces phénomènes en disant qu'il y a production de chaleur, et, si les atomes écartés, vibrant plus à l'aise, donnent des oscillations suffisamment rapides, cette chaleur est accompagnée de lumière.

Ainsi, raréfaction de leurs parties constituantes, et par suite chaleur et lumière, telles seraient les conséquences de la rencontre de deux étoiles ; puis, après cette conflagration, l'attraction reprenant ses droits, il y aurait reconstitution d'un astre unique avec diminution de chaleur et de lumière. Telle peut être la cause de l'apparition brusque de l'étoile temporaire observée en 1572 par Tycho Brahé. Elle se manifesta d'emblée dans Cassiopée avec une lumière extraordinaire ; puis, diminuant graduellement l'intensité lumineuse, elle finit par disparaître au bout de quinze ou seize mois.

CHAPITRE II.

SYSTÈME SOLAIRE.

§ 1. SA FORMATION.

Nébuleuse originelle ; premier centre d'attraction ; développement du mouvement giratoire ; formation des planètes et de leurs satellites. Lois de Kepler et de Newton, leur complément.

Pour bien comprendre la formation du système solaire conformément à la théorie de Laplace, complétée par les découvertes les plus récentes, il faut se remémorer l'expérience de Plateau (voir page 43), qui en est une espèce de schéma grossier et incomplet, et les formes particulières que présentent certaines nébuleuses. Telles sont : celles des Chiens de chasse avec son noyau de concentration; celle du Verseau, qui nous montre un anneau équatorial aplati et encore adhérent à la masse; enfin celle de Pégase dans laquelle on observe une sphère centrale condensée, entourée à distance de cinq anneaux concentriques, rompus et présentant tous à leur partie moyenne une concentration de leurs éléments, concentration qui va en s'atténuant graduellement jusqu'à leurs extrémités libres. Rappelons également les systèmes d'étoiles doubles dont nous avons parlé à la fin du chapitre précédent.

Étant donnée la marche progressive et continue de l'attraction qui tend à rapprocher les atomes constitutifs de la matière, et qui ne peut être suspendue que momentané-

ment par l'intervention accidentelle d'un mouvement plus énergique de l'éther, on est forcé d'admettre que tous les corps célestes ont une nébuleuse pour origine. Le système solaire ne peut faire exception à cette règle générale. Cherchons donc à reconstruire son histoire en nous appuyant sur l'observation de l'univers et sur les propriétés des atomes et molécules que les expérimentations nous ont fait connaître.

La nébuleuse primitive était-elle isolée, ou a-t-elle fait partie d'une de ces grandes étendues de matière cosmique, qui semblent devoir être l'origine d'amas stellaires, comme celles que l'on observe dans les constellations d'Orion et de l'Ecu de Sobieski ? Le soleil et son cortège de planètes et de satellites étant situés au milieu de la Voie lactée, la dernière hypothèse paraît la plus probable.

Quoi qu'il en soit, l'attraction, bien faible alors, commença à en dessiner les contours. Son plus grand diamètre était sans doute bien supérieur aux 6 987 millions de lieues, qui mesurent celui de l'orbite de la planète Neptune, la plus éloignée du soleil, du moins d'après nos connaissances actuelles. Quant à ses dimensions dans le sens perpendiculaire, nous ne pouvons nous en faire une idée précise ; mais il est probable qu'elles étaient beaucoup moindres, puisque tout l'ensemble forme aujourd'hui un disque aplati.

Les atomes répandus dans cet espace immense, étaient très raréfiés, et, dans leur mouvement de translation, jouissaient d'un libre parcours bien supérieur à celui qu'ils peuvent avoir dans le vide de nos machines pneumatiques. Nous avons vu que très probablement leur évolution naturelle ne les avait pas encore différenciés en espèces et en genres. Mais, si cette hypothèse était fausse, toutes les espèces étaient-elles alors réparties d'une manière uniforme

conformément à la loi dite du mélange des gaz? Il est permis d'en douter, car, si l'on trouve, dans tous les corps du système, un certain nombre des éléments qui constituent la terre, ils n'y sont certainement pas dans les mêmes proportions; plusieurs même font défaut dans certains d'entre eux. Du reste, cette prétendue loi ne s'applique qu'aux gaz actuels, et rien ne prouve que tous les corps simples, portés à cet état, soient tenus de se soumettre aux prescriptions de nos savants.

Ces atomes vibraient librement et la plupart avec une vitesse suffisante pour être lumineux, puisque ce sont ces vibrations qui nous permettent de constater la présence de nébuleuses dans certains points de l'espace.

L'éther de la nébuleuse vibrait passivement, mais n'était pas encore soumis à ces déplacements en masse qui durent se produire lorsque l'attraction entra énergiquement en action. Ce sont ces déplacements qui, on ne l'a pas oublié, tendent à dissocier les molécules de l'extrémité de nos nerfs sensitifs et nous donnent la sensation de chaleur.

De l'affinité, il ne pouvait être encore question, eu égard à la distance qui séparait les atomes.

Le premier centre de concentration, qui les groupa de manière à produire une masse susceptible d'agir sur les autres éléments en raison directe de cette masse et en raison inverse du carré des distances, dut se manifester indubitablement au centre même du soleil actuel.

Cette première condensation, qui était, ne l'oublions pas, encore bien loin de l'état solide ou liquide, a été le début de la lutte entre la synthèse et l'analyse, qui s'est toujours perpétuée depuis. En effet, l'éther, qui séparait les atomes en voie de rapprochement, a dû écarter davantage ceux du voisinage, qui réagirent à leur tour, et ces alternatives d'écartement et de rapprochement, se propa-

ţeant du centre à la circonférence, finirent par en expulser une partie au dehors de la nébuleuse, et par diminuer d'autant le volume de celle-ci. Nous reviendrons plusieurs fois par la suite sur ce phénomène capital ; mais il était indispensable de le signaler dès son apparition. Son importance est fondamentale pour bien comprendre l'évolution des différents centres de concentration que nous aurons à signaler ultérieurement.

Dès le début de la condensation, se manifesta un autre phénomène relatif au mouvement de translation des atomes, qui jusque-là s'étaient transportés librement dans toutes les directions. Leurs rencontres, d'abord rares, se multiplièrent; de cette gêne résulta l'annulation d'un certain nombre de mouvements, et ceux qui persistèrent formèrent une résultante qui donna au noyau primitif un mouvement de rotation sur lui-même, proportionnel à la vitesse de cette résultante.

Ce mot rotation n'est pas ici le terme tout à fait propre, car il s'applique plus spécialement aux corps célestes plus ou moins solidifiés qui tournent autour de leur axe. A cette période initiale de concentration, les atomes, encore complètement isolés, étaient animés de mouvements relativement indépendants dont la vitesse devait varier. Quoi qu'il en soit, ces mouvements (du moins leurs résultantes) naturellement rectilignes prirent la forme circulaire sous l'influence du centre attractif qui les maintenait sans cesse à distance. J'insiste tout particulièrement sur ce point qui est la clef de toute la dynamique du système solaire. En effet, il est bien clair que, si une attraction centrale quelconque agit sur des atomes immobiles, l'ensemble restera fixe ; mais si, comme il est certain, ils se meuvent, cet ensemble devra forcément pivoter sur lui-même dans un sens déterminé par la direction de la majorité des atomes,

celle-ci entraînant la minorité. Les progrès de la condensation ne changeront rien à ce mouvement ni à sa direction qui nécessairement persisteront, même après la solidification plus ou moins complète de la masse.

De plus, comme, pendant son état nébuleux, celle-ci devait progresser dans l'espace dans le sens du mouvement de la majorité des atomes, à la manière de ces essaims de moucherons dont j'ai parlé plus haut, elle continuera à suivre la même direction, le mouvement de rotation n'entravant pas celui de translation.

Ceci bien compris, continuons.

L'attraction ajoutant sans cesse de nouveaux atomes à la masse centrale, ceux-ci se trouvèrent entraînés dans ce mouvement giratoire, qui finit par s'emparer de la nébuleuse tout entière. Elle prit alors une forme régulièrement lenticulaire, que l'on constate chez la plupart de celles que l'on observe en voie de condensation.

Sur les bords amincis de cette lentille, l'attraction se trouvait favorisée par le voisinage de l'espace intersidéral que l'éther des intervalles atomiques gagnait facilement, phénomène qu'en langage ordinaire on traduit par le mot *refroidissement*.

Il se forma ainsi un anneau aplati plus dense, qui, se réduisant de volume plus rapidement que la masse centrale, finit par se trouver séparé d'elle par un vide qui ne fit que s'accroître, mais ne l'empêcha pas de suivre le mouvement général, la concentration ne supprimant ni l'attraction centrale ni la translation des atomes.

Bientôt, en un point de cet anneau, se manifesta un centre particulier de condensation, qui, tout en continuant à circuler autour de la nébuleuse centrale, se mit à pivoter sur lui-même pour les motifs exposés plus haut, mais dans un sens qui pouvait être autre que celui de la nébuleuse et

dépendait de la direction de la résultante du mouvement de translation de ses atomes constituants.

Ce nouveau noyau, dans son mouvement de circumduction autour de la nébuleuse, finit par absorber le reste de l'anneau et par former une nébuleuse secondaire qui, par suite de sa densité encore faible, prit encore une forme lenticulaire, aplatie vers les pôles de l'axe de rotation.

Pendant ce temps, toujours par le même mécanisme, se détachait de la nébuleuse centrale une succession d'anneaux qui, suivant la même évolution que le premier, lui donnaient peut-être l'aspect de la nébuleuse de Pégase.

Mais revenons à la nébuleuse secondaire. Sous l'influence de sa forme lenticulaire, l'attraction, facilitée sur son bord aminci par le voisinage de l'éther libre que gagnait facilement celui de ses intervalles atomiques, amena une condensation excentrique et par suite la formation d'un anneau qui suivit les phases précédemment décrites.

Le nouveau corps ainsi produit continua à circuler autour de sa nébuleuse. Mais, pendant sa formation, l'attraction continuant son œuvre d'autant plus facilement que la première masse détachée était moins volumineuse, celle-ci avait pris une consistance plus considérable. Elle resta donc sphérique, et tous ses éléments, désormais liés ensemble, continuèrent à se condenser lentement et progressivement suivant une marche que nous décrirons en détail à propos de la terre. Disons seulement que, pour nos yeux, le premier signe de cette condensation est la disparition des vibrations lumineuses; elle nous indique le passage de l'état stellaire à l'état planétaire ; mais celui-ci ne peut entraver ni la rotation, ni la circumduction, qui sont, comme je l'ai démontré tout à l'heure, les résultantes des mouvements de translation des atomes, mouvements qui ne peuvent être anéantis.

La nébuleuse secondaire, réduite à l'état sphérique, cessa donc ultérieurement d'émettre de la lumière et devint une véritable planète, expression aujourd'hui reconnue sans valeur significative, mais qui remonte à une époque où l'on croyait les étoiles fixes, et où l'on pensait que les astres du monde solaire erraient seuls dans l'espace.

Nous venons de décrire la formation de Neptune et de son satellite. Ce corps est le plus éloigné du soleil et, par conséquent, a dû être formé le premier. Cependant les astronomes disent avoir des raisons de croire qu'il en existe un ou plusieurs autres encore plus éloignés, mais qui échappent à tous les télescopes actuels. Peu importe, au point de vue de la théorie.

En dedans de la courbe fermée parcourue par Neptune, la nébuleuse centrale, que nous pouvons appeler solaire, puisque le soleil en est le reliquat, donna successivement naissance, toujours par le mécanisme décrit plus haut, à huit anneaux concentriques que nous allons passer rapidement en revue.

Le premier, éloigné de Neptune d'environ 400 millions de lieues, produisit Uranus, qui lui-même donna naissance à quatre satellites.

Puis vint Saturne qui forma huit satellites, sans doute à cause de sa faible densité que l'on constate encore actuellement. Un neuvième anneau se produisit, mais resta tel; nous le voyons encore aujourd'hui à sa place primitive, c'est-à-dire au niveau de l'équateur de la planète, dont il n'est éloigné que de 7000 lieues. Cet arrêt de développement d'un satellite est certainement dû à la trop grande condensation de l'anneau générateur au moment de sa formation, et aux progrès rapides qu'elle dut faire, puisque aujourd'hui on ne lui trouve que 70 lieues d'épaisseur maximum. Sa période nébuleuse a dû être très

courte et ne pas permettre la formation d'un noyau de concentration (1).

Un troisième anneau solaire, celui-là très volumineux, forma le globe énorme de Jupiter, après que lui-même eut perdu de sa masse quatre satellites d'une grosseur proportionnelle.

L'anneau qui suivit, au lieu de se concentrer en une seule sphère, se désagrégea en un nombre considérable de petits corps, dont près de 300 sont aujourd'hui connus. Leurs diamètres varient entre 400 et 30 kilomètres (?). On suppose que ce trouble, survenu dans la concentration du cinquième anneau, est dû à l'influence attractive de Jupiter. Si cette hypothèse probable est réelle, il faut conclure que la concentration de l'anneau jovien précéda de longtemps la formation du suivant. En effet, toutes ces étapes de la fragmentation concentrique de la nébuleuse primitive ont dû être très irrégulières.

Après ce groupe curieux, Mars fut le résultat de la concentration d'un nouvel anneau plus mince. En effet, le volume de cette planète la place la septième dans la série décroissante de ces corps. Il donna naissance à deux petits satellites découverts seulement en août 1877, par un astronome américain.

Puis vint la Terre, de laquelle la Lune seule est issue.

Enfin, la série se termina par la formation successive de Vénus et de Mercure, ce dernier, le plus petit de tous les corps nés de la nébuleuse, dont alors le volume était singulièrement réduit. En général, les dimensions de toutes les planètes sont en rapport avec l'étendue qu'elle devait avoir lors de leur formation.

(1) Voir M. G.-A. Hirn, *Sur les conditions d'équilibre et sur la nature probable des anneaux de Saturne*. Gauthier-Villars, in-4° avec planches, 1872.

CHAPITRE II.

SYSTÈME SOLAIRE.

§ 1. SA FORMATION.

Nébuleuse originelle ; premier centre d'attraction ; développement du mouvement giratoire ; formation des planètes et de leurs satellites. Lois de Kepler et de Newton, leur complément.

Pour bien comprendre la formation du système solaire conformément à la théorie de Laplace, complétée par les découvertes les plus récentes, il faut se remémorer l'expérience de Plateau (voir page 43), qui en est une espèce de schéma grossier et incomplet, et les formes particulières que présentent certaines nébuleuses. Telles sont : celles des Chiens de chasse avec son noyau de concentration; celle du Verseau, qui nous montre un anneau équatorial aplati et encore adhérent à la masse; enfin celle de Pégase dans laquelle on observe une sphère centrale condensée, entourée à distance de cinq anneaux concentriques, rompus et présentant tous à leur partie moyenne une concentration de leurs éléments, concentration qui va en s'atténuant graduellement jusqu'à leurs extrémités libres. Rappelons également les systèmes d'étoiles doubles dont nous avons parlé à la fin du chapitre précédent.

Étant donnée la marche progressive et continue de l'attraction qui tend à rapprocher les atomes constitutifs de la matière, et qui ne peut être suspendue que momentané-

[illegible]

... La [illegible]
... [illegible]
... donc à [illegible]
... temps [illegible]
... exécut[illegible]
... à la [illegible]
... avec [illegible]
découvert[illegible]
... tent [illegible]
... ètes et [illegible]
... de Lap[illegible]
... is la [illegible]
... mes lève [illegible]
... ents de [illegible]
... résultante [illegible]
... les composa[illegible]
... peut prend[illegible]
... vu pour les [illegible]
... traction [illegible]
Il n'est donc [illegible]
il y ait des [illegible]
... tres de l'oue[illegible]
... les planètes.

... t de termi[illegible]
... ries émises [illegible]
... et de révolu[illegible]
... 1609. Ke[illegible] ... sont ... ents
... duction [illegible] plus faible que à [illegible]
... près du Sole[illegible] ... les surfaces [illegible]
... rayon ve[illegible] ... sont proportionnelles aux
... employé à [illegible] que les carrés des
... des révoluti[illegible] ... tre eux comme les cubes des
... axes des or[illegible]

Certains astronomes ont, à plusieurs reprises, cru découvrir une planète intra-mercurielle ; ils lui ont même donné le nom de *Vulcain*. Mais cette découverte n'a pas été confirmée, malgré l'examen attentif dont le soleil est sans cesse l'objet dans les divers observatoires disséminés sur la surface de la terre.

Ainsi, pour nous résumer, cette évolution gigantesque du système solaire est due simplement à deux propriétés de la matière, l'attraction et le mouvement de translation des atomes, ces corps si petits que le diamètre des plus gros ne doit pas dépasser un millionième de millimètre. Mais leur vitesse énorme, multipliée par leur nombre incommensurable, leur donne une puissance formidable, que l'attraction même la plus intense est incapable d'anéantir, et dont elle peut simplement modifier la direction. Nous pouvons nous faire une idée de cette puissance par la force des substances explosives, force qui est due à la tension énorme des gaz qui résultent de leur décomposition, c'est-à-dire au développement instantané du mouvement de translation de leurs particules élémentaires.

Une question se pose tout naturellement ici. L'état actuel du Soleil peut-il faire prévoir la formation d'un dernier anneau, c'est-à-dire la préparation d'une nouvelle planète ? Ce n'est pas probable ; sa condensation est trop avancée. Il est à peu près sphérique comme toutes les planètes au moment où elles ont cessé de proliférer, même l'aplatissement de ses pôles est si minime qu'on n'a pu s'en rendre compte qu'à l'aide des observations les plus délicates. Cependant nous devons faire remarquer que la vitesse de sa rotation augmente de 2 jours 543 millièmes, des deux côtés de l'équateur, dans une zone comprise entre les latitudes des quarante-cinquièmes degrés, ce qui n'arrive pas pour les corps qui, comme la Terre, ont une cohé-

sion parfaite. La zone équatoriale est, par conséquent, animée d'un mouvement propre, analogue à celui de l'anneau de Saturne, dont la fraction intérieure effectue sa révolution en un temps moitié moindre que celui pendant lequel la planète exécute sa rotation. Il y a donc là comme une tendance à la formation planétaire, tendance qui devra disparaître avec les progrès de la condensation.

La découverte des satellites de Neptune et d'Uranus, qui exécutent leur révolution dans un sens opposé à celui des planètes et des autres satellites, a paru ébranler la théorie de Laplace basée uniquement sur la gravitation. Mais la découverte du mouvement de translation des atomes lève cette difficulté, en faisant voir que les mouvements de rotation et de circumduction des planètes sont la résultante du mouvement de translation de leurs particules composantes. Cette résultante, dans un astre libre, peut prendre toutes les directions, comme nous l'avons vu pour les étoiles ; mais, pour les corps enchaînés par l'attraction à un astre central, elles se réduisent à deux. Il n'est donc pas étonnant que, dans le système solaire, il y ait des satellites qui se dirigent de l'est à l'ouest et d'autres de l'ouest à l'est; il pouvait en être de même pour les planètes.

Avant de terminer ce paragraphe, disons un mot sur les théories émises pour expliquer les mouvements de rotation et de révolution des planètes et de leurs satellites.

Vers 1609, Kepler découvrit : 1° que le mouvement de circumduction est d'autant plus rapide que la planète est plus près du Soleil, de telle sorte que les surfaces décrites par le rayon vecteur des orbites, sont proportionnelles aux temps employé à les parcourir ; 2° que les carrés des temps des révolutions sont entre eux comme les cubes des grands axes des orbites.

D'autre part, en 1665 (?), Newton, découvrant la gravitation, établit que la forme elliptique des circonvolutions des planètes et de leurs satellites, est due à l'attraction de l'astre qui occupe un des foyers, et que cette force attractive est proportionnelle à la masse.

Ces vérités sont restées inébranlables ; mais, si elles prouvent que la gravitation règle le cours des planètes, elles n'expliquent pas pourquoi elles se transportent et pourquoi elles tournent sur elles-mêmes.

Du temps de Kepler et de Newton, le doigt de Dieu résolvait toutes ces inconnues. De nos jours on a dit que l'impulsion première des planètes et des satellites était due à leur détachement de la nébuleuse. *Post hoc, ergo propter hoc*. Ce n'est que reculer la difficulté. Pourquoi ce détachement a-t-il produit ce résultat? Comment la nébuleuse a-t-elle pu imprimer à ces parties d'elle-même et rotation et translation? C'est, dit-on, la transformation de son mouvement giratoire. Mais la cause de ce mouvevement lui-même? Impossible d'en sortir.

L'explication que je donne, basée sur l'observation et l'expérimentation, est la seule plausible et, je puis le dire, la seule vraie. Elle rend compte des effets d'une force puissante, celle du mouvement de translation des atomes, force qu'il est impossible de négliger. Enfin, elle laisse parfaitement intactes les vérités dont la découverte est due aux génies de Kepler et de Newton, et vient les compléter.

Maintenant que nous connaissons l'origine des divers éléments qui composent le système solaire, nous allons exposer ce que l'on sait de leur constitution physique actuelle.

§ 2. LES PLANÈTES ET LEURS SATELLITES.

Planètes : direction de leurs axes et de leurs orbites ; leur constitution physique ; leurs mouvements ; leur distance du soleil.
Satellites : la lune ; sa constitution physique ; ses mouvements. — Volcans lunaires ; leur origine. La lune est un astre mort.

Les progrès de l'attraction ont fait perdre à tous les astres, nés de la nébuleuse solaire, les qualités stellaires qu'ils avaient acquises tout d'abord. Aujourd'hui leur surface ne présente plus de traces d'incandescence ; ils ne sont plus lumineux par eux-mêmes, mais réflètent la lumière que leur envoie le soleil. Lui seul, de tout le système, doit présenter, vu de l'espace, l'aspect d'une étoile. Pendant longtemps, alors que le globe énorme de Jupiter était lumineux, il a sans doute constitué une étoile double, peut-être même triple, si l'incandescence de Saturne a persisté jusqu'à la condensation complète de son puissant voisin.

Depuis leur formation, planètes et satellites ont continué à tourner sur eux-mêmes et à se mouvoir autour de leurs centres respectifs. Nous devons cependant signaler quelques modifications qui ont dû survenir dans la série des temps. Les axes de rotation se sont inclinés diversement sur le plan de l'ellipse qu'ils décrivent, et sur lequel ils étaient primitivement perpendiculaire ; ce plan lui-même n'est pas resté confondu avec celui de l'équateur de l'astre d'origine, et le coupe aujourd'hui plus ou moins obliquement. Quant à la forme de la courbe fermée qu'ils décrivent, ignorant quelle elle était au début, nous ne pouvons savoir si elle a été modifiée depuis.

L'inclinaison de l'axe doit sans doute être le résultat du changement de place du centre de gravité pendant la condensation. Quant à l'inclinaison des orbites sur le plan équatorial de l'astre d'origine, on l'attribue à l'attraction des planètes les unes sur les autres, attraction qui influe aussi sur leurs courses révolutives autour du soleil, et trouble la régularité de leur marche. Ce sont des perturbations de ce genre, exercées sur Uranus par un astre excentrique, qui ont fait soupçonner, puis découvrir Neptune; et comme lui-même en subit également, on suppose que ces dernières sont dues à une ou plusieurs planètes encore plus éloignées.

Quoi qu'il en soit, il s'est établi entre tous les membres de la famille solaire un *modus vivendi* qui assure leur tranquillité et la nôtre.

Nous connaissons parfaitement l'âge relatif, dans chaque lignée, des descendants de la nébuleuse mère; mais il s'en faut de beaucoup que l'état de sénilité de chacun soit en rapport avec l'ordre chronologique de sa naissance, la petitesse du volume, comme nous l'avons déjà démontré, favorisant singulièrement l'action condensatrice de l'attraction, par l'expulsion plus facile de l'éther. Ainsi il est certain que les petites planètes télescopiques ont atteint l'extrême vieillesse, alors que Jupiter et Saturne, ces deux colosses, sont encore dans toute la vigueur de la jeunesse. Le poids atomique des éléments qui constituent les corps planétaires, doit aussi entrer comme cause importante dans les progrès de leur vétusté; celui qui contiendrait en majorité des métaux lourds atteindrait plus rapidement le maximum de condensation. Du reste, l'examen télescopique nous donne quelques renseignements assez précis à ce sujet.

Planètes. — Dans le résumé que nous allons donner de

l'état physique apparent des planètes du système solaire, nous placerons en tête de chaque article : les chiffres fournis par les calculs astronomiques concernant le volume, la masse et la densité, la Terre étant prise comme unité ; leur distance moyenne au Soleil en millions de lieues ; la durée de leur rotation et de leur révolution en heures, jours ou années, et la vitesse en kilomètres de leur mouvement de translation par seconde.

Neptune. (Volume, 54,9 ; masse, 22,5 ; densité, 0,410 ; rotation, ? ; révolution, 164 ans ; vitesse, 8,8 kilomètres ; distance au Soleil, 1 112 millions de lieues.)

Uranus. (Volume, 57,8 ; masse, 13,5 ; densité, 0,234 ; rotation, ? ; révolution, 84 ans ; vitesse, 10 kilomètres ; distance au Soleil, 710 millions de lieues.)

On ne sait presque rien de Neptune et d'Uranus, leur éloignement ne permettant pas un examen sérieux de leur surface. L'analyse spectrale nous apprend seulement qu'ils sont entourés d'une atmosphère sensiblement différente de la nôtre.

Saturne. (Volume, 718,8 ; masse, 91,9 ; densité, 0,128 ; rotation, 10 heures 16 minutes ; révolution, 29 ans 5 mois ; vitesse, 11,8 kilomètres ; distance au Soleil, 352 millions de lieues.)

Jupiter. (Volume, 1 279,4 ; masse, 308,9 ; densitée 0,242 ; rotation, 9 heures 55 minutes ; révolution, 11 an, 10 mois ; vitesse, 15 kilomètres ; distance au Soleil, 192 millions de lieues.)

Saturne et Jupiter ont une enveloppe gazeuse d'uns épaisseur énorme et chargée de nuages dont l'opacité empêche de voir le sol. L'abondance de vapeur d'eau que ces atmosphères contiennent, prouve que leur température propre doit être très élevée, car la chaleur que le Soleil leur envoie est si minime que, si elle était seule pour agir, toute *cette masse d'eau* serait solidifiée. Leur noyau

central ne doit pas avoir encore expulsé la plus grande partie de l'éther interposé entre les atomes ; peut-être même, si notre position relative permettait de voir leur surface non éclairée par le Soleil, apercevrions-nous quelque trace de leur lumière propre, à travers leur atmosphère nuageuse. (Une lueur rouge a été aperçue sur un point de Jupiter.) Leur faible densité, surtout pour Saturne, indique également un degré de condensation peu avancé ; ce n'est pourtant pas une preuve absolue, puisque certains groupes d'atomes sont encore très légers, lorsqu'ils ont atteint leur densité maximum. Néanmoins, il faut ici en tenir grand compte, puisque Saturne surnagerait sur l'eau distillée, et que Jupiter aurait peine à s'enfoncer dans l'eau de mer. En tout cas, on peut affirmer qu'il n'y a aucune trace de vie sur ces corps volumineux, et qu'il n'y en aura jamais.

Planètes télescopiques — On ne sait rien de la constitution physique de ces petits corps. Herschell a supposé que *Cérès* avait une atmosphère, à cause de l'aspect nébuleux qui l'avait fait prendre pour une comète par Grazzy, qui la découvrit en 1801 ; mais je ne pense pas que cette supposition ait été confirmée. Quoi qu'il en soit, leur petit volume et leur âge annoncent une condensation très avancée, si ce n'est complète. 278 sont cataloguées.

Mars. (Volume, 0,147 ; masse, 0,105 ; densité, 0,711 ; rotation, 24 heures 37 minutes ; révolution, 686 jours ; vitesse, 25 kilomètres ; distance au Soleil, 54 millions de lieues.)

Grâce à la puissance de nos instruments et au voisinage de cette planète, l'observation de sa surface est très facile ; aussi peut-on suivre toutes les modifications qu'elle subit. L'ancienneté de Mars, la faiblesse des radiations solaires qu'il reçoit et qui sont, avec celles qui parviennent à la *Terre*, dans le rapport de 4 à 9, l'inclinaison de son axe

qui donne à ses hivers une durée double des nôtres, toutes ces considérations permettent d'affirmer que la température y est très basse. Son atmosphère, moins étendue que la nôtre, contient de la vapeur d'eau, mais est très peu nuageuse. Ses pôles sont recouverts de calottes blanches, d'autant plus étendues que les nuits y sont plus longues ; ce doivent être des masses de glace. Le reste de la surface présente deux teintes, l'une rougeâtre qui influe sur la lumière que la planète réfléchit, et l'autre sombre et sans coloration déterminée. Les parties rouges, d'un aspect rocheux, sont regardées comme des continents, et les autres comme des mers ; mais leurs contours n'ont rien de fixe. Tantôt les continents paraissent submergés, tantôt ils se dégagent et reprennent leur teinte caractéristique. D'autres fois, on les voit coupés par de larges canaux qui paraissent se prolonger sous les mers ; la direction de ces canaux se rapproche souvent d'une manière sensible de celle des méridiens. On suppose que ce sont des crevasses qui se forment dans le sol de la planète, dont la [illegible] intensité de la pesanteur [illegible] : elles auraient pour cause la [illegible] de la masse. Quoi qu'il en soit, [illegible]

[illegible]

[illegible]

Vénus, si semblable à la Terre par son volume et sa densité, en diffère beaucoup au point de vue des climats. Son axe est tellement incliné sur le plan de son orbite que ses cercles polaires atteignent presque la latitude de nos tropiques. Son disque est recouvert d'une atmosphère nuageuse dont la densité est à celle de l'atmosphère terrestre comme 189 et à 100. Cette enveloppe gazeuse est surtout très visible lors du passage de la planète sur le disque solaire. Durant ses nuits, elle présente une certaine phosphorescence qui paraît due à la lumière stellaire reflétée par les nuages. A certaines époques où les vapeurs étaient moins condensées, on a cru reconnaître des taches grises situées à l'équateur et aux pôles et que l'on croit pouvoir être considérées comme des mers. En explorant l'astre durant ses phases, on a aperçu des aspérités qui ne sont autres que des montagnes dont quelques-unes atteignent une hauteur de 44 kilomètres.

Mercure. (Volume, 0,052 ; masse, 0,061 ; densité, 1,173; rotation, 24 jours ; révolution, 87 jours, 20 heures 47 minutes ; vitesse, 47,9 kilomètres ; distance au Soleil, 14 millions de lieues.) .

Mercure présente également des élévations de terrain qui peuvent atteindre jusqu'à 180 kilomètres, c'est-à-dire la deux cent cinquante-troisième partie de son diamètre. Ces hauteurs démesurées, si on les compare aux reliefs du sol de la Terre, s'expliquent par le petit volume de la planète qui, malgré sa densité, n'exerce qu'une force attractive minime sur les matériaux qui la constitue, tandis que les mouvements d'expansion qui amènent les soulèvements, conservent toute leur énergie. L'analyse spectrale nous montre des raies d'absorption qui prouvent que ce petit globe a une enveloppe gazeuse plus épaisse que la nôtre. C'est tout ce que l'on sait sur la constitution physique de cette planète, dont l'observation est très dif-

cile à cause de son voisinage du Soleil, dans les rayons uquel elle se perd le plus souvent.

Quoi qu'il en soit, la présence de montagnes très élevées ious permet d'affirmer que Mercure et Vénus, malgré eur jeunesse relative, approchent de la sénilité.

Les satellites. — Nons ne savons absolument rien sur a constitution physique des satellites des planètes extéieures à la Terre ; ce qui s'explique par leur éloignement t par leur petit volume relatif ; je dis relatif, car le troiième de Jupiter, Ganymède, est intermédiaire, comme rosseur, entre Mars et Mercure. Il faut attendre de noueaux perfectionnements des télescopes, tant pour leur uissance que pour la netteté des images qu'ils nous donient.

La Lune. (Volume, 0,020; masse, 0,013; densité,),615; rotation, 27 jours, 7 heures 43 minutes ; révoluion, 27 jours, 7 heures 43 minutes; vitesse, 1017 mètres ; listance de la Terre, 96 109 lieues.)

La Lune, exécutant sa révolution autour de la Terre xactement dans le même temps qu'elle tourne sur ellenême, nous montre toujours le même hémisphère. Si 'autre nous est inconnu, par contre, la sélénographie de elui-là est arrivée à un degré de précision remarquable. En effet, nos instruments, par leur puissance, la rapprochent à 44 lieues.

Il est aujourd'hui certain qu'il n'existe à sa surface ni gaz, ni vapeurs ; de plus, son aspect permet d'affirmer qu'elle n'a jamais eu de collections d'eau comparables à nos mers et à nos fleuves. Tous les accidents de terrain qu'elle présente, et ils sont nombreux, sont dus à des éruptions volcaniques. Cette expression semble en contradiction avec le manque d'eau, car, sur la Terre, les phénomènes modernes de cette nature ne s'expliquent que *par la dilatation énorme* que ce liquide éprouve en péné-

trant dans les profondeurs du sol, dont la température s'élève progressivement ; il s'en échappe en vapeurs qui entraînent avec elles les matières auxquelles elles se sont trouvées mélangées. Aussi, les volcans lunaires se distinguent-ils de ceux de notre globe par un caractère absolument tranché. Le fond de leur cratère est toujours à une grande profondeur au-dessous du niveau général. A proprement parler, ce ne sont pas des montagnes, mais des trous avec des rebords en saillie. Ainsi, le cratère de Copernic a 800 mètres de margelle, tandis que le fond est à 2400 mètres au-dessous du sol. C'est absolument le contraire pour les volcans terrestres.

Cette observation a servi de base à une théorie exposée d'une manière remarquable, par M. Faye, dans l'*Annuaire du bureau des longitudes*, pour l'année 1881. Il attribue toutes les perforations dont la surface de la Lune est criblée, à la puissance d'attraction de la Terre, ayant produit des espèces de marées des matières en fusion ignée qui se trouvaient sous la croûte solide. Sous l'influence de cette poussée intérieure, les parties faibles de cette croûte primitive cédèrent. Il en résulta des trous dont les bords liquéfiés s'arrondirent. D'abord très larges (c'est à celles-là que l'on donne le nom de mers), ces ouvertures, en se multipliant, se rétrécirent au fur et à mesure que l'écorce solide augmentait d'épaisseur. Toutes ces perforations hâtèrent le refroidissement du noyau central, qui, en se rétractant, leur donna la profondeur que nous observons. Quant aux saillies circulaires, elles ont été formées par des débordements successifs de la matière en fusion.

Les autres accidents de la surface lunaire, tels que les fissures dont la plupart rayonnent autour des principaux cratères, sont probablement les effets de la rétraction de l'écorce.

Aujourd'hui, tous ces phénomènes ont cessé de se pro-

duire. Pour être complet, je dois dire cependant que l'on a constaté des modifications dans l'un des cratères jumeaux de Messier, et que celui de Linné, situé sur le bord oriental de la mer de la Sérénité, très visible en 1651, n'était en 1788 qu'une « très petite tache blanche, ronde, offrant une très légère dépression » ; puis il a paru s'élargir, jusqu'à atteindre 10 kilomètres, pour disparaître aujourd'hui à peu près complètement. Enfin, à plusieurs reprises, on a aperçu sur différents points du disque lunaire des clartés plus ou moins vives ; la dernière, en 1886, paraissait émaner du cratère d'Aristarque. Mais tous ces phénomènes n'ont rien de précis et peuvent être dus à des illusions d'optique.

En somme, notre satellite n'est ni habité, ni habitable, et ne l'a jamais été. C'est un astre mort, voisin de son maximum de condensation.

§ 3. LE SOLEIL.

Reste de la nébuleuse primitive. — Mouvements du Soleil ; sa densité. — Constitution physique : couronne ; chromosphère ; photosphère ; noyau. — Taches ; cyclones. Chaleur solaire. Réfutation de la théorie de M. Hirn. Comètes. — Bolides, aérolithes, étoiles filantes. Conclusion.

J'ai dit, au début du paragraphe précédent, que le plan des orbites des planètes et des satellites était incliné diversement sur le plan de l'équateur de l'astre formateur. Je n'en ai cependant pas la certitude mathématique ; cette assertion repose uniquement sur une impression d'ensemble. C'est qu'en effet les astronomes, préoccupés uniquement du point de vue pratique, n'ont calculé ces inclinaisons, *pour les planètes* et pour notre Lune, que par

rapport au plan de l'écliptique terrestre, et, pour les autres satellites, par rapport à celui de l'orbite de la planète autour de laquelle ils gravitent. Au point de vue de la science, tous ces rapports n'ont aucune signification ; tandis qu'il y aurait intérêt à savoir comment, pourquoi et dans quelle proportion un corps planétaire a quitté le plan équatorial où il est né. Est-ce par suite de l'inclinaison de l'axe de rotation de l'astre central ou sous l'influence d'une attraction extérieure ? Je fais cette remarque uniquement pour faire voir combien sont rares les matériaux vraiment scientifiques que l'on peut tirer de la masse de calculs mathématiques auxquels les astronomes se livrent et qui les absorbent entièrement. Le Verrier, après avoir calculé, suivant l'expression consacrée, les éléments de la planète extérieure à Uranus, ne s'est pas donné la peine de la chercher ; c'est à Berlin qu'on l'a découverte.

Le *Soleil*, ce reliquat de la nébuleuse primitive, a un volume qui égale 1 283 720 fois celui de la Terre et 607 fois celui de toutes les planètes réunies. Mais, sa densité étant seulement le quart de celle de la Terre, sa masse est inférieure à celle du reste du système, de 58 fois le poids de la terre. La nébuleuse a donc perdu plus de la moitié de ses atomes avant d'être réduite à l'état d'étoile solaire. Si, sans perdre rien de sa substance, elle s'était rétractée, de manière à former un corps de la même densité que le Soleil actuel, sa surface ne serait rapprochée de la Terre que de 180000 lieues ; sur 36 millions, ce serait peu de chose.

Ces chiffres font bien comprendre à quel degré considérable de raréfaction devaient être portés les matériaux du système solaire, lorsqu'ils s'étendaient au delà de l'orbite de Neptune, dont le diamètre moyen est de 2 164 millions de lieues, longueur qui, dans l'hypothèse de la concentra-
us ces matériaux à la densité du Soleil actuel, se-

rait réduite à 3 435 000 lieues, c'est-à-dire à sa 720e partie.

Quel temps énorme n'a-t-il pas fallu pour que les actions combinées de l'attraction et du mouvement de translation des atomes puissent produire le monde solaire tel que nous le voyons ! Mais, dans la science de l'Univers, toutes les quantités numériques sur lesquelles s'épuisent nos calculateurs, n'ont aucune signification, quand on considère le nombre des atomes, celui des corps célestes qu'ils forment, et l'étendue de l'espace qu'ils occupent.

La densité de l'eau distillée à 4 degrés étant 1, celle du Soleil est 1,265, un peu moindre que celle du phosphore solide, 1,770 ; un peu plus considérable que celle de l'eau de mer, 1,026 ; approximativement égale à celle du sulfure de carbone liquide, 1,263. Dans ces conditions, il est permis de penser que, si le Soleil contient des matériaux solides ou liquides, ceux-ci doivent se trouver au centre et en quantités relativement minimes, de manière que leur densité puisse être compensée par celle des gaz plus ou moins raréfiés qui complètent l'ensemble et occupent la périphérie.

La masse d'atomes accumulés dans le Soleil représente 324 439 fois celle de ceux de la Terre ; si bien qu'un corps qui pèse 1 kilogramme au Gabon, pèse à l'équateur solaire 27 625 grammes. Cette particularité est très importante pour l'intelligence des mouvements de la matière dans l'astre central.

Il tourne sur lui-même en 25 jours, 4 heures, 29 minutes, et se meut dans l'espace, à la manière des étoiles, avec une vitesse d'environ 30 kilomètres par seconde. Il paraît se diriger vers la constellation d'Hercule, entraînant avec lui tous les corps planétaires qui gravitent autour de lui.

La puissance d'attraction des éléments atomiques du Soleil, combinée avec leur mouvement de translation, lui donnent *donc une puissance* formidable.

Passons maintenant à sa constitution physique, telle, du moins, que nos connaissances actuelles nous permettent de l'apprécier.

Dans les éclipses totales, produites par le disque obscur de la Lune, on voit le Soleil entouré de rayons lumineux divergents d'une longueur variable, mais pouvant atteindre 500 000 kilomètres: c'est la *couronne*. Puis vient la *chromosphère*, ainsi nommée parce que, dans les mêmes circonstances, cette seconde enveloppe du Soleil prend des teintes rosées particulières. On lui attribue généralement environ 2 000 kilomètres d'épaisseur. Sous cette couche transparente apparaît, avec un éclat très puissant, la *photosphère*, dont la tranche, visible dans les déchirures accidentelles qu'elle présente, mesure jusqu'à 6 000 kilomètres. Toute la partie centrale, sur laquelle les données sont très restreintes, porte le nom de *noyau*.

Ces différentes couches concentriques de la masse solaire augmentent progressivement de densité de dehors en dedans. Dans la plus extérieure, la couronne, la matière est si raréfiée, que quelques savants en ont mis l'existence en doute, s'appuyant sur ce que la marche des comètes qui viennent à la traverser, n'en est pas ralentie. Mais la matière seule peut produire ou refléter la lumière; on est donc bien forcé d'en admettre la présence ; seulement elle affecte une forme sans doute encore plus ténue que celle des atomes que nous connaissons. Quant à sa disposition en rayons convergents, nous y reviendrons tout à l'heure à propos de la queue des comètes.

La chromosphère présente l'état gazeux ordinaire plus ou moins raréfié. C'est, à proprement parler, l'atmosphère du Soleil. Elle est composée spécialement d'hydrogène et de vapeurs métalliques telles que celles du sodium, du magnésium, du calcium, du fer, du nickel, du chrome, du *titanium*, du cobalt, etc. ; l'hydrogène prédomine sur-

tout dans les couches supérieures. Dans l'hypothèse de l'évolution transformiste des atomes, tous ces corps simples sont-ils absolument identiques à ceux que nous manipulons sur la Terre ? Bien que difficile à résoudre, la question mérite d'être posée.

Quoi qu'il en soit, ce sont ces gaz qui, malgré la lumière rosée qu'ils émettent durant les éclipses produites par la Lune, absorbent tous les rayons qui se traduisent dans le spectre solaire par des raies sombres, nombreuses et diversement disposées. Cette atmosphère, presque exclusivement métallique et composée d'éléments non combinés, se prolonge sous la photosphère, comme nous le verrons tout à l'heure. Une particularité remarquable, c'est que l'on n'y a pas découvert l'azote si abondant dans les nébuleuses, et que l'oxygène y est très rare, si toutefois il s'y rencontre ; et cependant le poids atomique de ces deux corps leur assignerait une place dans les couches superficielles (1). En tout cas, cette absence de l'oxygène devra singulièrement diminuer le nombre des combinaisons, lorsque le Soleil sera arrivé à la période chimique de sa concentration.

C'est de la photosphère que nous vient la lumière ; mais elle ne nous arrive pas dans les mêmes proportions de toutes les parties de la surface du disque. Le centre est quatre fois plus brillant que les bords, ce qui tient à la nature absorbante de la chromosphère, qui, par rapport à nous, se trouve en couches d'autant plus épaisses que l'on s'approche davantage de la périphérie. Son spectre est continu ; elle n'est donc pas à l'état gazeux, et nous ne pouvons en connaître la composition.

(1) Dans une ascension faite au mont Blanc, en octobre 1888, par M. Janssen, l'illustre astronome s'est assuré que les raies de l'oxygène, données par le spectre solaire, sont uniquement dues à *celui de l'atmosphère terrestre.*

Vue à un fort grossissement, cette surface lumineuse n'est pas continue. On y constate des granulations brillantes, quelquefois régulières, souvent déchiquetées ou comme étirées. Elles sont limitées par une espèce de réseau sombre à mailles très irrégulières. Leurs différences de niveau donne à la superficie de la photosphère un aspect moutonneux analogue à celui des nuages. C'est qu'en réalité ces masses de granulations flottent dans l'atmosphère solaire à la manière de nos nuages; seulement elles ont la continuité de ceux de Jupiter, ne présentant que de temps en temps des perforations plus ou moins étendues au travers desquelles on aperçoit les parties profondes qui apparaissent noires ; d'où le nom de *taches* données à ces solutions de continuité. Bien qu'elles ne soient pas persistantes, elles durent assez longtemps pour avoir pu servir à calculer la durée de la rotation de l'astre.

La chromosphère communique par conséquent avec l'intérieur, non seulement par les interstices des granulations, mais par ces ouvertures accidentelles plus ou moins larges, disposées en entonnoir, dont les parois sont formées par l'épaisseur de la couche photosphérique. Cette couche est donc bien comparable à nos nuages de vapeur d'eau, et l'on peut admettre qu'elle est formée par des particules liquéfiées de certaines des substances gazeuses que contient l'atmosphère solaire, et qui sont maintenues en suspension par des courants ascendants. Arrivées à une certaine distance de la surface extérieure, ces substances, dont les atomes sont les plus susceptibles de se condenser, perdent facilement l'éther interposé et se groupent en parcelles liquides qui, en tombant lentement vers les parties profondes, reprennent la forme de vapeur, pendant que de nouvelles condensations se produisent dans les régions supérieures. C'est du moins ainsi que les choses se passent pour nos nuages terrestres, avec cette

différence que les matériaux qui forment la photosphère, sont beaucoup plus abondants, et que celle-ci présente une consistance beaucoup plus considérable, qui s'explique par la nature certainement métallique des éléments condensés.

Quoi qu'il en soit, ces nuages, dont les vibrations éblouissantes se propagent par l'entremise de l'éther bien au delà des planètes les plus éloignées, expulsent une quantité considérable de l'éther qui d'abord les maintenait à l'état gazeux ; ce dégagement a lieu dans tous les sens, aussi bien vers les parties profondes de la masse solaire que vers l'extérieur. Ils contribuent donc à maintenir un certain degré de raréfaction dans l'atmosphère intérieure ; mais en outre, par leur densité, ils forment une espèce de barrière qui entrave la perte de calorique ou d'éther de la masse centrale. Il nous est facile de nous rendre compte de cet effet, par la différence de température que nous éprouvons l'hiver, lorsque des nuages épais interceptent ce que l'on appelle le rayonnement nocturne.

La partie de l'atmosphère solaire qui enveloppe la photosphère, est forcément le siège d'agitations violentes. Le mouvement de translation des atomes de toutes ces vapeurs métalliques, se trouve entravé tant par l'attraction de la couche de nuages lumineux, que par leur tendance naturelle à se condenser, et la cohésion que la plupart de ces métaux nous montrent sur la Terre, nous donne la mesure de l'intensité de cette tendance. Il en résulte, suivant une théorie développée et soutenue par M. Faye avec autant d'habileté que d'énergie, des tourbillons, des cyclones plongeants qui perforent la photosphère et s'engouffrent dans l'atmosphère sous-jacente. L'éther et les atomes, ainsi introduits violemment dans un espace relativement confiné, augmentent dans des proportions formidables la pression que cette *atmosphère intérieure* exerce sur la photosphère

et donnent lieu à ces éruptions de matière gazeuse visibles seulement sur les bords du disque solaire, mais qui doivent avoir lieu sur toute la surface de la photosphère, avec une intensité inversement proportionnelle à la résistance qu'elle présente. L'hydrogène, en raison de la faiblesse de son poids atomique, parvient aux plus grandes hauteurs. Longtemps on n'a pu constater ces jets énormes de gaz que durant les éclipses totales, mais grâce à une application fort ingénieuse du spectroscope, due à M. Janssen, on peut actuellement en tout temps constater leur présence et même leurs contours.

La corrélation qui existe entre la production des taches et celle des éruptions, est un fait acquis à la science. Ces phénomènes, qui se produisent continuellement, mais dont le redoublement d'intensité affecte une certaine périodicité, retardent nécessairement le mouvement de concentration de la masse générale du Soleil et explique la lenteur avec laquelle il se produit. Mais elle n'en est pas moins certaine, et toutes les conjectures, émises par les adversaires de l'évolution du système solaire, restent impuissantes.

Je ne m'arrêterai pas à les discuter. Je signalerai seulement combien les préjugés aveuglent certains savants. Ils comparent le Soleil à un foyer de combustion et prétendent qu'il est alimenté par la chute continuelle d'aérolithes qui circulent autour de lui. Or, qui dit combustion dit combinaison chimique, et il est à peu près démontré que tous les éléments qui composent ce reste de la nébuleuse primitive, sont restés isolés jusqu'ici. Ils sont seulement, suivant l'expression consacrée, à une très haute température, et l'introduction de corps froids ne peut qu'abaisser cette température et diminuer l'incandescence. Jetez dans un métal en fusion, avec telle violence que vous voudrez, des parcelles d'autres métaux ; celles-si s'échaufferont, il est vrai, mais aux dépens du

liquide, et si l'on continue l'expérience, la masse finira par reprendre l'état solide.

Envisageons maintenant le Soleil comme source de chaleur. C'est la photosphère qui émet la presque totalité du calorique. C'est naturel, puisque les taches, d'ailleurs essentiellement temporaires, n'occupent qu'une minime partie de sa surface. Mais à l'aide d'instruments d'une grande sensibilité, on a reconnu qu'elles en émettaient également, et nullement en proportion avec leur faible intensité lumineuse. Nouvelle preuve à joindre à tant d'autres, que la chaleur et la lumière n'ont pas la même origine.

C'est le moment de revenir sur la théorie de la chaleur que nous avons exposée plus haut, page 85 (1). Il est certain que le Soleil déverse continuellement une quantité considérable d'éther dans les espaces intersidéraux qu'il traverse ; cet éther provient de la masse entière dont l'attraction tend continuellement à rapprocher les atomes. Mais l'émission n'a pas lieu avec la régularité que l'on observe lorsqu'un bloc de métal chauffé à blanc reprend graduellement sa température et son volume primitifs. Un écoulement aussi régulier ne peut avoir d'influence que lorsque le fluide expulsé pénètre directement dans les intervalles atomiques d'autres corps d'une cohésion différente; s'il se produisait au milieu d'une vaste étendue d'éther dépourvue de toute particule matérielle, nous ne percevrions que les vibrations lumineuses sans aucune manifestation calorifique à grande distance.

Or, ce que nous venons de dire de la constitution de la masse du Soleil montre qu'il ne peut être en aucune façon

(1) Cette théorie a été de ma part l'objet d'une communication à la section de physique du congrès de l'*Association française pour l'avancement des sciences*, tenu à Toulouse en 1887. (Voir le compte *rendu de la séance du 28* septembre, t. I, p. 199.)

comparé à un bloc de métal, comme l'avaient pensé les anciens. La couche nuageuse de la photosphère, en séparant en deux zones concentriques l'atmosphère gazeuse, les met chacune dans des conditions physiques très dissemblables et, comme il s'agit de nombreux corps simples bien différents par la manière dont ils obéissent à l'attraction centrale (poids atomique) et à celle de leurs atomes les uns pour les autres, on comprend qu'il y ait des échanges violents entre les deux zones au travers de la photosphère elle-même, d'où résultent des courants plongeants et émergents continuels et d'une intensité dont nous ne pouvons nous faire une idée même approximative d'après les phénomènes analogues qui se passent sur la Terre. De plus, cette photosphère vient encore ajouter à ces perturbations formidables, les effets des condensations et vaporisations dont elle est sans cesse le siège.

L'agitation de la mer éthérée est donc un phénomène réel. Le flot qui en résulte vient dilater la surface terrestre et y développer les phénomènes calorifiques avec toutes leurs conséquences, et ce flot n'a rien de commun avec les vibrations transmises en même temps par l'éther et que nous percevons sous forme de lumière.

On comprend maintenant que les physiciens, qui ont entassé calculs sur calculs pour déterminer la température du Soleil, soient arrivés aux résultats les plus discordants. Le lecteur qui a bien saisi notre théorie de la chaleur, comprendra qu'il ne pouvait en être autrement. En effet, sur la Terre, nous ne percevons pour ainsi dire que l'écho de la perte de calorique ou d'éther que l'astre central subit en un temps donné. Pour nous en rendre compte, il faudrait placer le thermomètre assez près de lui pour que l'instrument puisse être influencé par l'éther qui s'en échappe d'une manière définitive, et encore les indications qui seraient recueillies ne nous éclaireraient pas sur la capacité

calorifique de cet énorme corps, et sur la durée probable de son action sur les éléments de la surface de notre planète.

Pour préciser le premier point, il faudrait connaître non seulement la masse d'éther contenue dans les intervalles moléculaires, mais la force attractive qui porte les atomes vers le centre de l'astre, et calculer les rapports entre ces deux quantités. Or, les éléments de ce calcul nous sont complètement inconnus ; même les connaîtrions-nous, que de la capacité calorifique du Soleil nous ne pourrions induire la durée de son influence. En effet, les couches superficielles se condensent et perdent leur chaleur bien plus facilement que les régions sous-jacentes. Elles forment, en conséquence, une espèce d'écran qui fait obstacle à la sortie de l'éther intérieur. Aujourd'hui c'est la photosphère nuageuse, plus tard ce sera une croûte solide qui, beaucoup plus imperméable, l'emprisonnera autour du noyau condensé, comme il arrive actuellement pour la Terre, ainsi que nous le verrons bientôt. Le problème que les physiciens ont cherché à résoudre par les mathématiques, est donc complètement insoluble.

Ce sujet nous ramène à l'ouvrage de M. Hirn (1), dont nous avons parlé plus haut (voir p. 121). En effet, la dernière conclusion de ce livre est que le Soleil et toutes les étoiles sont dans un état qui demeurera désormais immuable, et que, par conséquent, nous n'avons pas à craindre de périr faute de chaleur et de lumière. Si telle était la vérité, ce serait fort rassurant, mais voyons si réellement il en est ainsi, et quelle est la valeur des arguments invoqués.

L'auteur admet, pour expliquer la formation du système solaire, la théorie de Laplace, modifiée ou non par M. Faye (2). Pour lui, tous les astres grands et petits qui le

(1) *Constitution de l'espace céleste.*

(2) Voir plus bas, *p. 185.*

composent sont issus d'une nébuleuse primitive. Mais il ne peut considérer celle-ci comme formée des débris d'anciens mondes détruits, et ayant subi une espèce de rénovation par cette désagrégation extrême. D'après l'astronome de Colmar, elle est sortie de toutes pièces des mains du Créateur, et c'est au moment de son apparition qu'a été prononcé le *fiat lux* de la Bible. Les planètes, leurs satellites et tous les corps minuscules qui gravitent autour de l'astre central, ont subi et subissent encore les effets d'une concentration progressive et continue, produite par l'attraction; le Soleil seul y résiste. Les preuves sur lesquelles est étayée cette dernière affirmation peuvent se résumer ainsi.

Le Soleil ne se refroidit pas, car Arago affirme qu'il y a 4000 ans, la surface terrestre jouissait absolument de la même température qu'aujourd'hui. Du reste, il ne peut perdre par an moins de 13°,26 (*sic*), ce qui durant ces 40 siècles donnerait un déficit de 53 000 degrés. Pour que l'astre puisse supporter une pareille perte sans en être affecté, il faudrait qu'il en eût encore des millions, et qu'il en ait eu des milliards lors de l'apparition de la vie sur la Terre, ce qui est inadmissible.

Si la chaleur solaire ne diminue pas, c'est qu'elle est entretenue par une cause quelconque. Or, ce ne peut être par un travail de concentration, car « la contraction, la diminution du rayon solaire, seraient dues à un refroidissement ; cette concentration *n'empêcherait donc pas le refroidissement*, puisqu'elle n'est due qu'à lui. » (1).

L'opinion de Robert Mayer, qui attribue la persistance intégrale de la chaleur de l'astre central, à la chute continuelle de météorites, n'a pas plus de valeur. D'abord, la plupart d'entre eux, si ce n'est tous, circulent autour de

(1) *Loc. cit.*, p. 326.

lui ; puis, s'ils s'y précipitaient en quantité suffisante, par suite de l'augmentation consécutive de la masse, « la Terre et toutes les planètes se rapprocheraient continuellement du Soleil, et c'est cette chute qui déterminerait leur accélération. La valeur indiquée pour la diminution de l'année (30 minutes) n'est qu'approximative ; toutefois il est facile de montrer qu'elle serait non plus faible, mais au contraire un peu plus forte. » (1).

Donc, c'est à l'intervention continue de l'élément dynamique qui remplit l'espace, qu'il faut attribuer l'état stationnaire de la chaleur solaire.

A part la réfutation de l'opinion de Robert Mayer, sur laquelle je me suis expliqué plus haut, une semblable argumentation ferait douter de la valeur scientifique de M. Hirn, si d'autres travaux nombreux ne l'avaient suffisamment établie.

D'abord, l'affirmation d'Arago sur la température de la surface terrestre il y a quatre mille ans, a tout juste la valeur de celle de Cicéron et de Plutarque sur le consentement unanime des peuples relativement à l'existence de Dieu, affirmation qui, pour les philosophes de la Sorbonne, est la meilleure preuve de cette existence. Quant au chiffre de 13°,26 que le Soleil aurait perdu chaque année pendant ce laps de temps, je ne doute pas que M. Hirn ne l'ait obtenu à l'aide des calculs les plus savants et les plus compliqués ; mais les calculs donnent ce qu'on veut bien leur faire donner, témoin les 5 millions de degrés qu'il a obtenu comme température d'une nébuleuse. Du reste, ce que nous avons dit précédemment nous dispense d'insister sur le peu de fond qu'il faut faire sur toutes ces évaluations, auxquelles un luxe d'opérations algébriques donne une vaine apparence scientifique.

(1) *Loc. cit., p. 330.*

Mais ce qui dépasse toute vraisemblance, c'est de voir un savant, physicien, astronome et mathématicien, affirmer que la concentration du Soleil est due à son refroidissement, comme si l'attraction ne devait y être pour rien! Tout le monde sait, et M. Hirn le premier, que le refroidissement est la conséquence et non la cause de cette concentration, et que tout corps, qui ne se rétracte pas, conserve sa chaleur à l'état latent. S'il en était ainsi du Soleil, sa masse serait inerte, et nous serions bientôt gelés.

— Enfin, dites-vous, l'élément dynamique interstellaire remplace au fur et à mesure le calorique qui s'échappe continuellement du globe solaire. — Alors il agit à la manière d'un foyer qui maintient un bloc de fer au rouge blanc, malgré la chaleur qu'il émet sans cesse à profusion. Mais, s'il en est ainsi, puisque la Terre et tous les autres corps du système ont eu une période stellaire, pourquoi l'élément dynamique, dans lequel ils baignent comme le Soleil, les a-t-il laissé s'éteindre? Pourquoi ce thermomètre que vous supposez placé dans l'espace (1), se congèlerait-il, alors qu'il serait si facile à votre agent de le chauffer, lui qui vient à bout d'entretenir la chaleur solaire? Si c'est en vertu du bon plaisir de cette Volonté libre et illimitée à laquelle vous croyez, il faut le dire hautement.

Du reste, il est inutile d'insister, car M. Hirn termine un des chapitres de son introduction, qui n'est que la paraphrase du volume entier moins les calculs, de la manière suivante.

« Je ne présente l'énoncé précédent qu'avec la plus extrême réserve, et non pas même comme une hypothèse explicative, mais comme une opinion personnelle. Une découverte, grande et inattendue, sur les propriétés des éléments

(1) *Loc. cit.*, p. 297.

dynamiques, dont l'existence a été jusqu'ici niée, viendra peut-être un jour donner à cet énoncé le caractère d'une vérité acquise. D'ici là je ne le considérerai moi-même que comme une opinion (1). »

Le lecteur trouvera peut-être qu'après cet aveu ingénu, j'aurais dû passer sous silence un ouvrage qui, sous une apparence scientifique, n'est en réalité que l'expression des sentiments religieux de l'auteur. C'est possible ; mais j'ai voulu montrer dans quelles aberrations peuvent tomber les savants qui s'écartent de la voie tracée par Fr. Bacon, et faire voir qu'en dehors de la théorie basée sur les déplacements de l'éther produits par l'attraction et l'affinité, il est impossible de donner une explication satisfaisante des phénomènes calorifiques de l'univers.

LES COMÈTES.

Il se passe dans le voisinage du Soleil un autre phénomène, celui de la couronne, sur lequel M. Faye a appelé l'attention et qu'il attribue à la force répulsive de cet astre, autre forme de cette entité dynamique dont nous avons parlé (voir p. 119). Mais, avant d'en donner l'explication conformément à la théorie générale des propriétés de la matière qui fait la base de cet ouvrage, il est indispensable de dire un mot des *comètes* qui apparaissent accidentellement dans la sphère d'attraction de l'astre central et s'y maintiennent quelquefois.

Elles arrivent des espaces intersidéraux sous forme d'une masse nébuleuse extrêmement légère, formée d'un noyau plus dense, incandescent, entouré d'une atmosphère également lumineuse et composée, d'après l'analyse spectrale, surtout de vapeur de carbone libre ou combiné

(1) *Loc. cit.*, p. 90.

deux comètes disparues. La cohésion des noyaux cométaires est du reste très minime, puisque la comète de Biéla qui reparaissait tous les six ans et demi, se brisa en deux, le 13 janvier 1846, sous les yeux mêmes des astronomes. Elle a disparu depuis.

Un fait intéressant, c'est que les aérolithes, qui, tombés sur nos continents, ont pu être recueillis, contiennent tous, à de rares exceptions près, du fer métallique allié au nickel et au charbon, et que certains blocs volumineux en sont même uniquement composés. On a de plus observé de véritables pluies de poussière météorique, formées de petites masses de fer plus ou moins sphériques, et l'examen des diverses couches de l'écorce terrestre montre que ces pluies ont été fréquentes à toutes les époques géologiques. Enfin, le fer natif, sorti des parties les plus profondes de la Terre et lui appartenant d'une manière indiscutable, se présente dans le même état et avec la même composition que le fer météorique.

CONCLUSION.

La théorie du système solaire, que nous venons d'exposer, n'est autre que celle de Laplace, avec cette seule différence qu'à l'explication du mouvement de translation des planètes et satellites par la force centrifuge, empruntée à la mécanique par l'illustre mathématicien, se trouve substituée leur mobilité propre, résultant des mouvements dont sont animés les atomes qui les composent.

En mécanique, la force centrifuge, celle du cercle extérieur du volant d'une machine à vapeur par exemple, est celle que lui imprime le moteur, et la force centripète est représentée par la cohésion des matériaux de cette grande roue. Si cette cohésion vient à faire défaut, le mouvement de circulaire devient rectiligne, et les fragments du volant

rennent la direction de la [illegible]
i l'attraction [illegible]
éant l'impulsion donnée par [illegible]
lace sous-entendant [illegible]
qui se trouve [illegible]
irée du mouvement des atomes.

Elle détruit également [illegible]
l'*Explication du système du monde* [illegible]
satellites d'Uranus et de Neptune [illegible]
celui des planètes et des autres satellites [illegible]
Laplace avait été également [illegible]
couverte des satellites de Mars [illegible]
la planète trois fois plus [illegible]
elle-même, et par [illegible]
l'anneau de Saturne [illegible]
moins de temps qu'il [illegible]
ion. Un corps [illegible]
par son mouvement [illegible]
mouvement plus rapide que [illegible]
anéité de la translation [illegible]
vitesse et de direction [illegible]
stituants et le sens de la [illegible]
La théorie reste donc debout [illegible]

M. Faye, dont nous avons à plusieurs reprises [illegible] les vues ingénieuses, a prétendu donner une nouvelle explication du système solaire. Selon lui, les planètes et les satellites se sont formés dans l'étendue de la nébuleuse primitive par des points de concentration isolés, et ce n'est que consécutivement qu'ils se sont mis en mouvement. Les débris non employés, retombant sur le centre primitif, ont donné naissance au Soleil. Malgré le talent et l'autorité de son auteur, cette théorie est absolument fantaisiste ; l'observation et l'expérimentation la contredisent d'*une manière formelle*. Après l'exposé -

à l'hydrogène (acétylène) ou à l'azote (cyanogène). Lorsqu'on commence à les apercevoir arrivant des profondeurs du ciel, la nébulosité extérieure est uniformément répartie autour du noyau. Mais, lorsqu'elles approchent du Soleil, cette nébulosité s'allonge dans le sens du rayon de cet astre par un phénomène analogue à celui des marées, c'est-à-dire sous l'influence de l'attraction solaire. Bientôt cette matière gazéiforme paraît se précipiter vers le centre attractif ; mais, subissant alors une raréfaction extrême, elle est repoussée violemment vers l'espace et forme ces queues atteignant quelquefois 100 millions de lieues, et toujours dirigées dans le sens opposé au Soleil.

Après le périhélie, la queue disparaît graduellement en traversant les mêmes phases qu'à l'arrivée, et la comète s'en retourne sous sa forme primitive.

Ce phénomène de la production de la queue des comètes est certainement analogue à celui qui donne lieu à la couronne du Soleil, et ne peut être attribué qu'au flot d'éther qui s'en échappe. Mais quel doit être l'état des atomes matériels pour qu'ils puissent être ainsi soustraits à l'attraction si puissante du Soleil ? On l'ignore. En somme, toutes les difficultés dont la science est encore hérissée, dépendent de l'ignorance dans laquelle nous sommes de la constitution intime de ces particules élémentaires et des variations qu'elle peut subir.

M. Faye, suivant toujours son idée d'une force répulsive siégeant dans l'astre central, lui attribue la transformation en ellipse, plus ou moins allongée, de la parabole primitivement décrite par la comète ; c'est elle qui produirait le raccourcissement de l'excentrique. Mais ici sa théorie le met en défaut ; de l'avis de tous les astronomes, c'est l'attraction, d'abord de Jupiter puis du Soleil, qui maintient l'astre primitivement errant dans la sphère de notre système. Du reste, cette force répulsive est une conjecture pu-

rement gratuite. Si elle existait réellement, pourquoi les planètes et leurs satellites en seraient-ils dépourvus?

Terminons l'exposé de nos connaissances sur les comètes. Elles peuvent s'approcher du Soleil sans en paraître nullement incommodées. Celle de 1843 en a été si voisine à son périhélie, que sa surface n'a pas été éloignée de celle de la chromosphère de plus de 13000 lieues. On attribue à la rapidité de leur marche cette espèce d'immunité de ces corps nébuleux. En effet, la même comète parcourait 550000 lieues par seconde. C'est la plus grande vitesse que l'on ait mesurée dans tout l'univers. Elle démontre une fois de plus que le mouvement de translation des astres est bien spontané et que l'influence que l'attraction exerce sur lui n'est que secondaire.

Le volume des comètes varie pour ainsi dire à l'infini. Celles qui apparaissent dans le système solaire sont excessivement nombreuses. Beaucoup d'entre elles sont aperçues uniquement grâce à la perfection de nos intruments; mais, un très grand nombre doivent leur échapper à cause de leur petit volume. Les espaces interstellaires ne seraient donc pas aussi déserts qu'on serait tenté de le supposer de prime abord.

BOLIDES, AÉROLITHES ET ÉTOILES FILANTES.

Pour être complet, disons que les petits corps désignés sous ces différents noms, et dont un grand nombre tombent annuellement sur notre planète, ou en traversent simplement l'atmosphère, ont été attribués à des parcelles de matière échappées aux comètes, ou même à la pulvérisation de certaines d'entre elles. Il est un fait certain que des groupes excessivement nombreux de ces aérolithes décrivent autour du Soleil des ellipses excessivement allongées et que deux de ces ellipses sont identiques à celles de

deux comètes disparues. La cohésion des noyaux cométaires est du reste très minime, puisque la comète de Biéla qui reparaissait tous les six ans et demi, se brisa en deux, le 13 janvier 1846, sous les yeux mêmes des astronomes. Elle a disparu depuis.

Un fait intéressant, c'est que les aérolithes, qui, tombés sur nos continents, ont pu être recueillis, contiennent tous, à de rares exceptions près, du fer métallique allié au nickel et au charbon, et que certains blocs volumineux en sont même uniquement composés. On a de plus observé de véritables pluies de poussière météorique, formées de petites masses de fer plus ou moins sphériques, et l'examen des diverses couches de l'écorce terrestre montre que ces pluies ont été fréquentes à toutes les époques géologiques. Enfin, le fer natif, sorti des parties les plus profondes de la Terre et lui appartenant d'une manière indiscutable, se présente dans le même état et avec la même composition que le fer météorique.

CONCLUSION.

La théorie du système solaire, que nous venons d'exposer, n'est autre que celle de Laplace, avec cette seule différence qu'à l'explication du mouvement de translation des planètes et satellites par la force centrifuge, empruntée à la mécanique par l'illustre mathématicien, se trouve substituée leur mobilité propre, résultant des mouvements dont sont animés les atomes qui les composent.

En mécanique, la force centrifuge, celle du cercle extérieur du volant d'une machine à vapeur par exemple, est celle que lui imprime le moteur, et la force centripète est représentée par la cohésion des matériaux de cette grande roue. Si cette cohésion vient à faire défaut, le mouvement *de circulaire* devient rectiligne, et les fragments du volant

qui, d'après leur petit volume, ont dû se condenser très rapidement.

Quant à Mars, il ne peut y avoir actuellement aucune manifestation de vie à sa surface. En a-t-elle présenté à une certaine époque? C'est possible; mais son évolution rapide, due à son petit volume, n'a pu permettre aux êtres organisés d'y atteindre un haut degré de perfection. En effet, comme nous le démontrerons en son lieu, le monde organique, tel que nous l'observons, n'est pas né de toute pièce; il a fallu des milliers de siècles pour l'amener à l'état de développement qu'il a atteint aujourd'hui sur la Terre.

En ce qui concerne notre satellite, le doute n'est pas possible, puisque l'eau y a toujours fait défaut. C'est qu'en effet les conditions de chaleur et de lumière nécessaires à la vie ne suffisent pas pour la développer; il faut encore que les corps simples qui composent les substances organiques, existent en abondance. De plus, à supposer que toutes ces circonstances favorables se trouvent réunies, il suffirait de la surabondance d'un sel soluble, pour arrêter toute espèce de végétation, sans laquelle les animaux ne peuvent se nourrir.

La constitution physique de Vénus et de Mercure est encore peu connue. Cependant, de prime abord, leur rapprochement du Soleil et l'inclinaison si prononcée de leur axe de rotation font douter de la présence d'êtres vivants à leur surface. En effet, ces conditions climatériques doivent faire passer, sans transition, les différentes régions de ces globes, des chaleurs torrides aux froids les plus intenses, avec des nuits et des jours d'une durée dont ceux de nos régions polaires peuvent seuls donner une idée.

Il n'est guère nécessaire d'ajouter que le Soleil n'a jamais été et ne sera jamais habitable. Du moment où il *passera à l'état planétaire,* alors même que sa constitution

il me paraît inutile de la réfuter en détail ; je ferai seulement observer que le fait seul d'admettre que les débris de la nébuleuse, restés isolés entre les quatre grosses planètes extérieures, aient pu être attirés par le Soleil, prouve la prépondérance primitive de ce centre puissant d'attraction, et ne permet pas de lui faire jouer un rôle secondaire dans la formation générale du système. Je sais bien que l'illustre astronome a voulu, par cette nouvelle théorie, expliquer le mouvement à rebours des satellites de Neptune et d'Uranus ; mais il l'eût reconnu inutile s'il avait tenu compte du mouvement spontané de translation des atomes auquel, dans l'état actuel de la science, on doit attribuer celui de tous les corps célestes.

Dès que Copernic eut établi que le Soleil était le centre de notre monde, et que tous les corps qui gravitent autour de lui, recevaient chaleur et lumière de son foyer, l'imagination se plut à les peupler d'êtres organisés, différant plus ou moins de ceux de la Terre, suivant leur distance de l'astre central. La nature, écrit-on encore de nos jours, a des ressources inépuisables ; depuis Neptune jusqu'à Mercure, planètes et satellites sont peuplés d'êtres non terrestres, mais appropriés à leur situation spéciale dans l'univers.

Ce sont des contes de bonnes femmes. La matière est partout la même, et la production des éléments des êtres organisés nécessite toujours les mêmes conditions de chaleur et de lumière. Or, l'exposé succinct que nous avons donné de la constitution physique des planètes et de leurs satellites, nous a montré que la Terre seule présente ces conditions indispensables.

Il est certain que les grosses planètes et leurs satellites n'ont jamais été et ne seront jamais habitables ; les radiations solaires qui leur parviennent sont absolument *insuffisantes*. Il en est de même des planètes télescopiques

qui, d'après leur petit volume, ont dû se condenser très rapidement.

Quant à Mars, il ne peut y avoir actuellement aucune manifestation de vie à sa surface. En a-t-elle présenté à une certaine époque? C'est possible ; mais son évolution rapide, due à son petit volume, n'a pu permettre aux êtres organisés d'y atteindre un haut degré de perfection. En effet, comme nous le démontrerons en son lieu, le monde organique, tel que nous l'observons, n'est pas né de toute pièce ; il a fallu des milliers de siècles pour l'amener à l'état de développement qu'il a atteint aujourd'hui sur la Terre.

En ce qui concerne notre satellite, le doute n'est pas possible, puisque l'eau y a toujours fait défaut. C'est qu'en effet les conditions de chaleur et de lumière nécessaires à la vie ne suffisent pas pour la développer ; il faut encore que les corps simples qui composent les substances organiques, existent en abondance. De plus, à supposer que toutes ces circonstances favorables se trouvent réunies, il suffirait de la surabondance d'un sel soluble, pour arrêter toute espèce de végétation, sans laquelle les animaux ne peuvent se nourrir.

La constitution physique de Vénus et de Mercure est encore peu connue. Cependant, de prime abord, leur rapprochement du Soleil et l'inclinaison si prononcée de leur axe de rotation font douter de la présence d'êtres vivants à leur surface. En effet, ces conditions climatériques doivent faire passer, sans transition, les différentes régions de ces globes, des chaleurs torrides aux froids les plus intenses, avec des nuits et des jours d'une durée dont ceux de nos régions polaires peuvent seuls donner une idée.

Il n'est guère nécessaire d'ajouter que le Soleil n'a jamais été et ne sera jamais habitable. Du moment où il *passera à l'état planétaire,* alors même que sa constitution

physique permettrait la formation de composés organiques (ce qui n'est pas, puisqu'il paraît purement métallique), l'absence de lumière et de chaleur venant de l'extérieur y rendra impossible toute manifestation vitale; car les radiations stellaires sont absolument insuffisantes pour produire de semblables résultats.

La vie, dans l'univers, est donc un accident d'une rareté extrême, et nous verrons plus loin que la Terre, sur laquelle seulement elle se manifeste d'une manière certaine, a passé et passera une grande partie de son existence sans en présenter la moindre trace.

Ces considérations, et bien d'autres que l'on pourrait développer, nous permettent d'apprécier avec quelle facilité s'écroule l'échafaudage des *Causes finales*, quand, mettant un frein à l'imagination, on se confine dans les limites de la réalité. Le Soleil, célébré par les poètes et que tant de peuples ont adoré et adorent encore, a été créé, dit-on, pour développer la vie sur la Terre et assurer le bonheur de l'homme. Il verse, en effet, des torrents de lumière et de chaleur, mais ces dons précieux sont prodigués à peu près en pure perte. La Terre ne reçoit que la *demi-milliardième* partie de la quantité émise, et en perd plus de la moitié par le rayonnement nocturne et hibernal. Toutes les planètes et les satellites réunis n'en interceptent qu'un 227 millionnième, et la plupart sans en tirer profit. Le reste se répand sans utilité dans l'immensité de l'espace. Le grand architecte de l'univers s'est donc montré encore plus prodigue que ceux qui construisent nos maisons, en créant un si formidable appareil de chauffage et d'éclairage pour obtenir un si mince résultat.

Ce serait le moment de se demander quel peut être l'avenir réservé au système solaire; mais l'observation de faits analogues faisant absolument défaut, toutes les conjectures qu'on pourrait émettre à ce sujet, n'auraient au

cune base solide. On a dit que lorsque la concentration de toute la matière serait complète, son mouvement s'arrêterait, et que planètes et satellites, tombant sur le Soleil, s'y pulvériseraient pour reformer la nébuleuse. D'autres affirment que c'est l'attraction qui cessera à un moment donné, et que les atomes reprendront leur liberté pour se disséminer de nouveau dans l'espace. L'une et l'autre hypothèse sont possibles ; mais pour qu'elles se réalisent, il faudrait que les atomes puissent se transformer et perdre l'une de leurs propriétés caractéristiques, l'attraction ou le mouvement de translation. Tant que la chimie ne nous aura pas éclairés sur le mode d'évolution de ces particules élémentaires des corps, le mieux est de garder un silence prudent.

En résumé, les propriétés physico-chimiques de la matière suffisent pour expliquer d'une manière satisfaisante la formation et le fonctionnement du système solaire, comme de tous ceux qui constituent le monde stellaire.

CHAPITRE III.

LA TERRE.

PREMIÈRE SECTION. — SON PASSÉ.

§ 1. PÉRIODE STELLAIRE.

Condensation centrale; condensation superficielle. Apparition des réactions chimiques: Formation de la croûte granitique; combinaisons des corps gazeux contenus dans l'atmosphère primitive. Origine de l'acide carbonique; Disposition respective des matériaux du globe.

La théorie générale, que nous allons exposer, de la formation de la Terre et des transformations qu'elle a subies dans la série des âges pour arriver à l'état actuel, est *induite* des notions que l'*expérimentation* nous a données sur la constitution et les propriétés de la matière, ainsi que des *observations* recueillies sur le monde stellaire en général et sur le système solaire en particulier, et enfin sur la composition et la disposition des couches superficielles solides, liquides et gazeuses de cette planète que nous habitons.

Pour bien comprendre la formation d'un astre en général, il faut avoir une notion bien nette de l'attraction à laquelle sont soumis, à des degrés différents, tous les éléments de la matière, et de la composition de la fraction de nébuleuse qui est son origine.

Lorsque la nébuleuse terrestre fut séparée de son satellite, l'attraction, qui tendait à rapprocher les atomes des corps *simples* qui la composaient, lui donna une forme sphé-

·oïdale qu'elle a conservée depuis. Le centre de cette sphère était le point attractif vers lequel les différentes espèces d'atomes se portèrent avec plus ou moins d'énergie. Celles de ces espèces que nous connaissons sont au nombre de 66 ; il en existe peut-être d'autres, mais assurément leur importance est minime. Chacune des particules élémentaires de ces substances était séparée de ses voisines par une certaine quantité d'éther. Ce qui caractérise ce fluide, comme nous l'avons déjà dit, c'est que l'attraction lui est absolument étrangère ; nous traduisons cette qualité par l'épithète d'impondérable. Néanmoins, l'espace qu'il occupe, il ne le cède qu'à un effort des atomes qu'il baigne, et cela avec d'autant plus de difficulté que les voies par lesquelles il doit s'échapper sont plus étroites.

On a calculé l'intensité avec laquelle chacun des corps simples connus a dû se porter vers le centre de la sphère. Ces calculs ont donné le poids de ces atomes ; il varie pour chaque espèce, depuis celui de l'hydrogène que l'on prend pour unité, jusqu'à celui du bismuth qui est 212 fois plus lourd. Si donc l'attraction n'avait subi aucune entrave, le globe terrestre aurait été formé d'un noyau de bismuth entouré successivement, par couches concentriques, de plomb (207), de mercure (200), de platine (199), d'or (196,6), etc., jusqu'à l'oxygène (16), l'azote (14) et enfin l'hydrogène.

Chacun de ces corps serait passé successivement d'un état gazeux plus ou moins condensé à l'état liquide, puis à l'état solide ; et, après sa solidification complète, la sphère eût été recouverte d'une couche d'hydrogène d'un brillant métallique. C'est, en effet, l'aspect que ce corps doit présenter à l'état solide, comme l'a montré M. R. Pictet en chassant tout l'éther qui le maintient à l'état de gaz, tant par une compression des plus énergiques (650 atm.) que

par une aspiration de ce fluide, pratiquée à l'aide de mélanges réfrigérants (—140 degrés).

C'est bien ainsi, approximativement, que les choses se sont passées dans les régions centrales, car nous verrons plus tard que tous les métaux lourds nous viennent des parties profondes. Mais cette stratification régulière a été singulièrement troublée par les autres propriétés des atomes, mouvements de translation et affinité, et aussi par les difficultés rencontrées par l'éther pour gagner les espaces intersidéraux. Tous les phénomènes dont la Terre a été et est encore le siège, et que nous allons passer en revue, sont le résultat de toutes ces causes combinées.

Si nous nous en rapportons à son volume et à sa masse, la Terre a eu une période stellaire relativement très courte par rapport aux quatre grandes planètes extérieures dont la moindre, Neptune, a 55 fois son volume, avec une masse 21 fois et demie plus considérable. Alors que sa partie centrale était à l'état de fusion autour d'un petit noyau solide, les parties supérieures de son atmosphère ont dû former une photosphère de nuages métalliques, mais certainement beaucoup moins épaisse que celle du Soleil. En effet, cette atmosphère contenait, comme celle de l'astre central, du sodium, du potassium, du magnésium, du calcium, du fer, du nickel et du cobalt, mais singulièrement dilués, non seulement par l'hydrogène, mais par l'oxygène et l'azote ; ces trois corps, encore actuellement gazeux, ne pouvaient concourir à la condensation nuageuse.

Malgré cet obstacle à l'expulsion de l'éther, et malgré les cyclones qui, perforant la photosphère, engouffraient dans les parties inférieures de l'atmosphère une masse de ce fluide mélangé d'atomes matériels plus ou moins abondants, l'œuvre de concentration a marché rapidement, et bientôt tous les nuages métalliques durent se résoudre en *pluie brûlante* pour ne plus se reformer.

Dès lors, la nappe liquide de métaux légers en fusion, ·écisément ceux qui faisaient partie de l'atmosphère, put : refroidir, autrement dit perdre son éther intermoléculaire avec une grande facilité.

C'est alors que l'affinité commença à jouer un rôle prépondérant. Déjà, dans les parties centrales, elle avait dû se manifester en facilitant certains alliages entre métaux de poids atomiques différents, comme nous l'observons dans nos creusets. On en a la preuve par le contenu des filons, espèces de cheminées plus ou moins longues, plus ou moins flexueuses, par lesquelles les métaux lourds sont arrivés à la surface ; on y trouve, en effet, presque toujours les mêmes corps réunis. Mais les véritables combinaisons chimiques ne se firent qu'à la surface.

La couche en fusion la plus superficielle devait être composée des métaux légers suivants : sodium (poids atomique 23), aluminium (27), potassium (39), calcium (40), fer (56) et quelques autres encore, mais avec prédominance du silicium, métalloïde dont le poids atomique est 28. Au contact de l'oxygène de l'atmosphère tous ces corps s'oxydèrent plus ou moins rapidement avec un grand dégagement d'éther ou de chaleur, dont une grande partie s'échappa à travers les gaz ambiants. Puis la silice, jouant le rôle d'acide, s'empara de tous les oxydes métalliques pour former des silicates, qui, sous forme de scories, s'enfoncèrent plus ou moins profondément dans le bain métallique. A la longue, ce dernier se trouva entièrement solidifié et forma cette couche énorme de roches granitiques qui recouvre uniformément tout le globe. On les retrouve partout, soit affleurant le sol, soit recouvertes par des terrains de sédiment plus ou moins épais.

Cette formation solide termina définitivement la période stellaire de notre planète, qui, après la disparition de sa photosphère, *pouvait émettre* encore, par la fusion des

métaux légers, une lumière rougeâtre peu intense. Sa consistance n'était pas celle que nous constatons aujourd'hui; c'était une pâte plus ou moins ferme. Il est, en effet, démontré que les couches de granit ont été longtemps pâteuses, et le sont sans doute encore aujourd'hui dans les parties profondes, surtout à leur limite extrême. Quoi qu'il en soit, ce fut désormais une barrière difficile à franchir pour le reste de l'éther interposé entre les atomes métalliques du noyau central. Il subit, sous cette enveloppe granitique, un temps d'arrêt dans sa marche vers les espaces intersidéraux, et nous verrons qu'à toutes les époques et encore maintenant, ses efforts pour la franchir, ont donné lieu à des phénomènes éruptifs, ou tout au moins à des mouvements du sol plus ou moins violents. Mais la cohésion de cette couche continue et sa légèreté spécifique ont empêché le fluide impondérable d'entrainer les métaux lourds, sauf quelques exceptions insignifiantes que nous signalerons plus loin.

Pendant la formation de la couche granitique que nous venons de décrire, l'atmosphère terrestre contenait, outre les gaz oxygène, hydrogène et azote, tous les autres métalloïdes à l'état de vapeur, sauf le carbone, le sélénium et l'arsenic que leur poids atomique (12; 79,5; 75) ou leur affinité pour certains métaux, avaient entrainés dans les régions profondes; il faut en excepter également le silicium, dont nous venons d'indiquer le rôle important. Mais la condensation de ce mélange gazeux, favorisée par la disparition de la photosphère, y amena bien vite des réactions chimiques très vives, dans lesquelles l'oxygène et l'hydrogène jouèrent les rôles prépondérants: voici les plus importants.

L'oxygène et l'hydrogène donnèrent naissance à des quantités énormes de vapeurs d'eau, qui, se répandant [...]s les régions supérieures, formèrent une couche épaisse

de nuages, semblable à celle que l'on observe dans l'atmosphère de Jupiter. C'était une nouvelle barrière opposée à l'émigration de l'éther et qui remplaçait, à ce point de vue, la photosphère. En même temps, l'hydrogène se combinait au fluor, au chlore, au brome et même à l'iode que le peu de cohésion de ses particules élémentaires avait maintenu à l'état gazeux malgré son poids atomique considérable (127). Les acides fluorhydrique, chlorhydrique, bromhydrique et iodhydrique ainsi formés restèrent en suspension dans les couches inférieures, en même temps que les acides phosphorique, sulfurique et borique, formés par la combinaison de l'oxygène avec le phosphore, le soufre et le bore. Mais bientôt les précipitations de la vapeur d'eau, sous forme de pluies torrentielles, vinrent les dissoudre et les porter au contact des silicates alcalins de la croûte en voie de solidification. Leur affinité pour ces bases donna immédiatement naissance à des sels solubles que l'on retrouve encore dans nos mers actuelles.

Certainement, pendant longtemps ces collections liquides reprirent facilement la forme gazeuse sous l'influence de la chaleur du sol pâteux, laissant les sels dissous dans un état de cristallisation plus ou moins confuse. Mais les précipitations, se renouvelant sans cesse et enlevant vers les couches supérieures de l'atmosphère l'éther dégagé des matières granitiques, finirent par les refroidir suffisamment pour permettre aux premiers océans de se former.

Quoi qu'il en soit, l'action corrosive des acides énumérés plus haut, dut désagréger les couches superficielles de la roche primitive. La disparition d'une certaine quantité de soude, de potasse, de chaux et de magnésie, laissa à l'état libre, de la silice et du silicate d'alumine. Celles de ces couches que nous retrouvons en place sans aucun remaniement, le gneiss par exemple, contiennent plus de 70 pour 100 de silice et seulement 7 à 8 pour 100 des bases

alcalines, soude, potasse et chaux ; le reste est formé par l'alumine et l'oxyde de fer. Le silicate d'alumine donna naissance à ces masses énormes d'argile qui, remaniées un grand nombre de fois par les courants marins, devaient former tous les dépôts argileux que l'on retrouve aux époques géologiques qui se succédèrent ultérieurement. Une partie de la silice fut dissoute grâce à la présence des acides non encore fixés, et servit à agglutiner les parties désagrégées du granit ; le reste, isolé à l'état de petits grains de quartz et mélangé de petits cristaux de silicates non décomposés, forma une partie des sables que nous retrouverons plus tard.

Ce qui prouve que les précipitations d'eaux acides accompagnèrent la formation, ou tout au moins la reconstitution des roches granitiques, c'est que l'on trouve, inclus dans certaines d'entre elles, du fluor, du chlore, des acides borique, phosphorique, sulfurique et autres, qui n'ont pu s'y introduire depuis. En tout cas, la pression considérable de l'atmosphère d'alors, plusieurs centaines de fois plus lourde qu'elle ne l'est actuellement, et chargée de composés oxygénés et hydrogénés si actifs, a dû exercer une grande influence sur la formation de ces roches cristallines.

L'origine de l'acide carbonique de l'air, qui, à si juste titre, a longtemps préoccupé et préoccupe encore les géologues, nécessite quelques explications (1). Il est certain qu'il a figuré à toutes les époques comme élément constitutif de l'atmosphère ; il est certain également qu'à toutes les époques, des quantités considérables ont été fixées définitivement à l'état de carbonate calcaire, et que ces pertes continues ne l'ont pas empêché de produire les masses énormes de charbon végétal enfouies à l'époque houillère.

(1) La théorie que nous allons exposer est due à Elie de Beaumont et a été reprise, il y a dix ans, par M. Stanislas Meunier.

Enfin, aujourd'hui encore, c'est lui qui fournit le carbone qui entre dans la composition des corps organisés, qui, à la vérité, le reproduisent en grande partie, soit durant leur vie, soit après leur mort. S'ensuit-il pour cela, comme on l'a pensé d'abord, que tout le gaz carbonique successivement fixé se soit trouvé accumulé dans l'atmosphère primitive? Cette hypothèse est inadmissible, car on a calculé que cette masse énorme aurait pesé au moins 800 fois autant que la couche d'air actuelle, et aurait, par conséquent empêché, l'apparition des êtres organisés, qui sont les principaux auteurs de sa fixation, soit à l'état de carbonate calcaire, soit à l'état de houille. Il est donc de toute nécessité qu'il y ait une source continue d'acide carbonique, capable de remplacer celui qui disparaît continuellement. Reste à savoir où gît le carbone que l'oxygène brûle ainsi progressivement.

Ce corps est un solide infusible et fixe à la température de nos fourneaux ; c'est à peine si, à l'aide d'une pile de 500 éléments, le physicien Despretz a pu le ramollir et en volatiliser une minime partie. Il est insoluble dans tous les liquides, sauf dans le fer en fusion. Dans ces conditions, il a dû suivre les métaux lourds qui constituent le noyau central du globe terrestre. Or, il est démontré aujourd'hui, comme nous le verrons plus loin, que ce noyau est formé en grande partie par du fer carburé, c'est-à-dire allié à une proportion importante de carbone. Les éruptions granitiques les plus anciennes en ont ramené des blocs plus ou moins considérables que l'on a analysés. Reste à expliquer le procédé par lequel le carbone uni à ce fer a pu et peut encore s'oxyder. Voici l'opinion des savants à ce sujet.

L'eau pénètre à travers les fissures nombreuses de la croûte solide jusqu'au contact du fer carburé, qui se trouve à une température au moins voisine du point de fusion. *Elle se décompose alors* : son oxygène se porte sur le fer,

et son hydrogène, sur le carbone pour former des carbures gazeux qui, remontant par filtration vers les couches superficielles, se condensent sous forme de pétrole, dont les parties les plus volatiles arrivent au contact de l'oxygène atmosphérique qui les brûle lentement. Dans les régions volcaniques, ces phénomènes se succèdent avec une grande rapidité, et l'oxydation complète des hydrogènes carbonés est pour ainsi dire immédiate. C'est ainsi que les volcans vomissent des quantités énormes d'acide carbonique, que les sources minérales de leur voisinage en sont toutes chargées, et que, même longtemps après leur extinction, le sol en dégage encore, comme on l'observe aujourd'hui en Auvergne.

Quoi qu'il en soit, il est certain qu'avant l'émersion permanente des continents, l'acide carbonique existait en plus grande quantité dans l'atmosphère qu'aujourd'hui, soit parce que ses sources étaient plus nombreuses et plus abondantes, soit parce que l'absence de végétation terrestre en laissait une plus grande partie en liberté. Il est non moins évident que l'ensevelissement de la masse des végétaux de la période houillère, en purifiant l'atmosphère, a préparé la venue des animaux à respiration aérienne. Mais n'anticipons pas.

On retrouve un peu partout les surfaces du terrain primitif qui ont été témoins de la fin des phénomènes que nous venons de décrire. Les minéralogistes ont donné le nom de *gneiss* (1) à cette roche superficielle. Très analogue au granit qu'elle recouvre, elle s'en distingue par la disposition stratifiée de ses éléments; ce qui donne à penser que ceux-ci, d'abord désagrégés, se sont ressoudés par couches successives sous la pression des masses liquides qui les recouvraient.

(1) Mot d'origine saxonne, qui a passé du langage des mineurs saxons dans la langue scientifique (Littré). Nous en avons indiqué plus haut la composition.

A ce propos, je crois [illegible] il est regrettable que l'on [illegible] des roches cristallines [illegible] bizarres, qui n'indiquent [illegible] mique. Cette nomen[illegible] personnes qui, sans [illegible] minéraux, désirent [illegible] sible, et jette une [illegible] cette partie de la science.

Née bien avant la [illegible] cente, la minéralogie [illegible] curiosité. On a ramassé [illegible] par leur forme et leur [illegible] ces collections dont la [illegible] heureux possesseurs. C'est [illegible] gnations barbares qui [illegible] géologie, en rendent l'intelligence [illegible] n'ont pas été initiés au prés[illegible] âge. Je sais bien que l'ana[illegible] une vive lumière sur ce sujet [illegible] dénominations si multipliées [illegible] persiste et rend inintelligibles les ouvrages des géologues, même pour les personnes instruites. C'est une nouvelle preuve qui, après tant d'autres, démontre combien les siècles d'ignorance qui nous ont précédés pèsent lourdement sur la vulgarisation de la vraie science, pourtant si simple et si accessible à toutes les intelligences, quand on la dépouille de cette gangue du passé. Le lecteur ne sera donc pas surpris de nous voir éviter autant que possible tous les termes techniques. Ceci posé, revenons à notre sujet.

Après le refroidissement à peu près complet du terrain primitif, le gneiss, puisque gneiss il y a, présentait une *surface à peu près régulière*, recouverte d'une couche

d'eau au fond de laquelle gisaient par place des détritus plus ou moins grossiers, détachés du sol par les érosions chimiques dont j'ai parlé plus haut. La mer, encore tiède, contenait en dissolution, comme aujourd'hui, des sulfates, des phosphates et des carbonates alcalins et calcaires, ainsi que des fluorures, bromures et iodures des mêmes bases, mais surtout une quantité considérable de chlorure de sodium ou sel marin. Si tous les autres acides étaient combinés, l'acide carbonique était encore dissous en grande quantité dans cette eau salée, en même temps que des proportions variables d'oxygène et d'azote. Ce dernier gaz, en se combinant avec l'oxygène d'une manière définitive, avait peut-être déjà donné naissance à l'acide azotique ou nitrique, qui alors aurait pris sa part de soude, de potasse, de chaux et de magnésie; mais nous n'en avons pas la preuve certaine. En tout cas, ces composés chimiques ne tardèrent pas à apparaître. Quant à l'atmosphère, sa pesanteur était encore énorme ; la vapeur d'eau y abondait et la quantité d'acide carbonique mélangée à l'azote et à l'oxygène était dans des proportions cent fois, mille fois peut-être, plus considérable qu'aujourd'hui. Enfin, le noyau central, encore liquide dans ses couches extérieures, remplissait la sphère creuse granitique formée autour de lui.

§ 2. PÉRIODE PLANÉTAIRE.

Début de l'influence solaire ; rétraction du noyau central ; plissements et ondulations de l'écorce terrestre. Phénomènes neptuniens : formation des terrains de sédiment. Recherche de leur ordre de succession.

Jusqu'ici, si je puis m'exprimer ainsi, la Terre s'était *suffi à elle-même*. Tous les phénomènes que nous avons

décrits étaient les résultats de l'éther inclus et des propriétés des particules élémentaires : attraction, affinité et mouvement de translation. Aucune influence étrangère n'était intervenue; la photosphère d'abord, puis une couche épaisse de nuages, l'avait maintenue isolée du reste du système solaire. Mais, bientôt, par suite de la précipitation d'une masse de vapeur d'eau, désormais maintenue à l'état liquide, des éclaircies se manifestèrent dans son ciel nuageux. Alors les vibrations lumineuses et les ondulations calorifiques de la nébuleuse centrale purent pénétrer jusqu'à la surface liquide qui l'enveloppait presque entièrement. Dès lors, les collections d'eau, insensibles aux émanations si lentes de l'éther central, ne furent plus influencées que par la chaleur solaire, et ce fut le soleil qui devint, comme encore aujourd'hui, la cause de toutes les manifestations météorologiques dont l'atmosphère terrestre fut le siège.

A ces époques reculées, ce n'était pas encore ce petit disque brillant qui n'occupe que 32 minutes 3 secondes sur l'arc de 180 degrés que, tous les jours, il semble parcourir à l'équateur ; son diamètre était 60 fois, 100 fois peut-être, plus étendu. La partie non éclairée du globe se réduisait à un simple segment de la sphère, avec suppression de la nuit totale des pôles. Sans doute ce Soleil ainsi dilaté donnait, par chaque unité de mesure de sa surface, une chaleur et une lumière moins intenses; mais la Terre, étant plus rapprochée de la périphérie de ce corps nébuleux, pouvait en profiter dans la même mesure qu'aujourd'hui, et jouissait d'une complète uniformité de climats.

On en a la preuve certaine par la présence de la houille depuis l'équateur jusqu'au voisinage des pôles, et par l'identité, sous toutes les latitudes, des végétaux qui l'ont formée. On sait, en outre, qu'à la fin de la période géologique secondaire, *c'est-à-dire* des millions d'années après

l'époque à laquelle nous sommes arrivés, les magnolias fleurissaient sous le cercle polaire, et que la température des mers de cette région ne pouvait être inférieure à 23 degrés centigrades, pour permettre aux coraux de se développer avec l'exubérance de vie qui préside à leur multiplication.

Cependant, malgré la lenteur avec laquelle l'éther du noyau central traversait la croûte solide des roches granitiques, ce noyau, sans doute uniquement métallique, se contracta graduellement et donna lieu à des phénomènes d'une importance extrême. L'écorce terrestre, par sa constitution chimique étant arrivée à son maximum de condensation, ne pouvait suivre ce mouvement de rétraction ; mais, d'autre part, comme sa pesanteur et son défaut d'homogénéité ne lui permettaient pas de faire voûte et de laisser un vide entre elle et la masse centrale diminuée de volume, cette écorce, pour se maintenir en contact avec elle, dut subir des plissements en différents sens dans les régions les plus souples, et ailleurs des fractures avec chevauchement des surfaces disjointes.

La même cause s'accentuant de plus en plus, lentement mais d'une manière continue, les dislocations se multiplièrent à l'infini, accentuant ici les enfoncements et les saillies, les bouleversant ailleurs d'une façon plus ou moins complète.

C'est la succession de ces phénomènes perturbateurs qui constitue la série des périodes géologiques qui se sont écoulées depuis la formation de la croûte granitique jusqu'à nos jours. Le lecteur comprendra qu'il nous est impossible de les décrire, même d'une manière succincte, et de continuer l'histoire de l'évolution de la Terre, comme nous l'avons fait jusqu'ici. S'il veut en connaître les détails, il devra se reporter aux ouvrages spéciaux. Nous nous contenterons d'en exposer la marche générale et de

faire comprendre le mécanisme par lequel la surface du globe s'est trouvée ainsi successivement modifiée.

Il est aujourd'hui démontré que les grandes lignes du premier plissement de l'écorce terrestre se sont maintenues à peu près dans leur intégrité jusqu'à nos jours.

Les grandes dépressions de l'Atlantique, du Pacifique et de l'océan Indien ont toujours existé et n'ont fait que s'accroître de plus en plus. Sur les bords latéraux de ces grandes étendues d'eau, les sondages ont montré, sur une étendue de plus de 300 kilomètres, l'existence de dépôts détritiques provenant des fleuves qui s'y jettent, et de l'action destructive des flots sur le littoral. Puis viennent des accumulations plus ou moins épaisses de débris des carapaces calcaires ou siliceuses d'organismes inférieurs. Enfin, au centre, dans les régions les plus profondes, qui atteignent jusqu'à 8000 mètres, on ne trouve plus rien que le sol granitique.

Parallèlement à ces trois dépressions se formèrent trois saillies continentales dont l'émersion, malgré bien des alternatives, s'est de plus en plus accentuée. Ce sont les deux Amériques, l'Europe et l'Afrique que la Méditerranée sépare incomplètement, et l'Asie orientale qui se prolonge par les archipels de la Malaisie jusqu'à la pointe de l'Australie, représentée par l'île de Tasman. Ces deux derniers reliefs sont réunis au nord par le plateau de l'Iran, la mer Caspienne et les steppes de la Russie.

Les mathématiciens ont voulu voir dans cette disposition une figure géométrique, un tetraèdre ou pyramide triangulaire, dont la pointe serait au pôle austral. Sur sa base reposerait l'océan Glacial arctique, et ses arêtes convergentes seraient représentées par les trois saillies que je viens d'énumérer. Mais laissons là cette conception imaginaire qui ferait un cristal de la partie solidifiée du globe terrestre ; nous nous sommes déjà, à différentes re-

prises, expliqués sur la valeur des élucubrations de l'esprit mathématique.

S'il fallait donner une explication de la direction des trois grands plissements parallèles au méridien, on devrait en chercher la cause dans le renflement équatorial de la planète, concordant avec un raccourcissement de son axe de rotation de 1/293. Il n'y aurait, en effet, rien d'impossible à ce que la rétraction du noyau central ait produit des effets plus manifestes, là où l'écorce solide était plus épaisse. Mais cette induction aurait besoin d'être confirmée par d'autres observations et expérimentations.

Quoi qu'il en soit, c'est vers les reliefs continentaux dont nous avons esquissé la configuration, que se sont manifestés les efforts de l'éther intérieur pour franchir le mur granitique qui fait obstacle à sa sortie, tandis que les surfaces restées continuellement sous-marines depuis la formation des premiers océans, n'en présentent aucune trace, comme si, dans ces régions déprimées, la présence persistante de l'eau, en facilitant son écoulement graduel, avait augmenté l'épaisseur de l'obstacle. C'est l'opinion émise par M. Faye, et à laquelle aucune objection sérieuse n'empêche de se rallier. Ajoutons que c'est dans l'hémisphère boréal que les soulèvements continentaux ont prédominé, et que c'est sur eux que les phénomènes de dislocation se sont montrés avec plus d'intensité.

Tous les phénomènes qui vont se manifester à la surface du globe, pendant la production de ces mouvements du sol, auront l'eau pour facteur principal ; c'est ce qui leur a fait donner le nom de *neptuniens*, par opposition avec ceux qui avaient formé l'écorce cristalline et que l'on qualifie de *plutoniens*. Les principaux sont la formation des terrains dits de sédiment ou de dépôt. Pour en comprendre le mécanisme, il faut bien se rendre compte de la nature des éléments qui, au début, recouvraient la croûte solide.

C'était d'abord la mer, contenant des gaz et une foule de sels en dissolution, et répandue à peu près sur toute la superficie ; puis venait la masse immergée des débris insolubles de la partie désagrégée des couches granitiques, accumulés sur certains points. Si le sol, sur lequel ces matériaux liquides et solides reposaient, était resté immobile, tous auraient conservé leur situation primitive; mais il n'en a pas été ainsi, comme nous venons de le dire.

L'agitation lente de la couche superficielle liquide du noyau central, située immédiatement sous l'enveloppe solidifiée, amena des soulèvements et des affaissements continus et successifs dans les intervalles des trois grands plis signalés plus haut. Cette couche primitivement considérable, a dû singulièrement diminuer d'épaisseur, car en suivant les phénomènes géologiques dans la série des âges, nous voyons les effets de ses mouvements s'atténuer progressivement.

Ces dénivellations sont caractérisées par l'immersion de certaines parties de la surface terrestre et l'émersion de certaines autres.

Il en résulte des déplacements des matériaux solides auxquels viennent souvent se joindre des substances primitivement dissoutes et dont certaines circonstances accidentelles amènent la précipitation. Nous allons donner une description générale du phénomène ; mais, ce qu'il faut bien retenir, c'est qu'aucun terrain nouveau ne peut se former sans qu'un autre, plus ou moins éloigné, soit détruit en totalité ou en partie, et qu'en somme ce sont toujours les mêmes matériaux qui sont en jeu. Ainsi s'explique la difficulté de l'étude de la succession des sédiments.

Il est encore un point sur lequel nous devons insister, c'est que tous les *mouvements* du sol, qui ont amené des

modifications dans la configuration de l'écorce terrestre, se sont produits avec une extrême lenteur qui ne peut se mesurer que par des milliers de siècles. Les tremblements de terre, que nous observons aujourd'hui et qui ont dû se manifester à toutes les époques, ont une minime importance au point de vue de la formation des reliefs du sol. Les *Révolutions du globe*, de G. Cuvier, ces prétendus cataclysmes destinés à renouveler la surface de la terre, n'ont jamais existé que dans l'imagination des biblistes, inspirés par les préjugés religieux.

La mer, en avançant progressivement sur un terrain déprimé à la suite d'une émersion prolongée, en agite, par ses vagues du littoral, tous les matériaux désagrégés, et les entraîne au large pour les déposer plus ou moins rapidement, suivant leur volume et leur densité. Les couches de dépôt se succèdent ainsi. A la base sont les gros éléments, tels que galets et fragments de roche; puis viennent les sables dont la finesse augmente du fond à la superficie; enfin le tout est recouvert d'une couche d'argile dont les particules microscopiques étaient restées jusque là en suspension.

Lorsque le bassin de nouvelle formation a reçu tous les éléments solides, une période de calme survient, souvent très prolongée; alors se développent des myriades d'organismes à enveloppe calcaire ou siliceuse. Les nombreuses générations qui se succèdent, déposent leur carapaces sur le fond argileux et finissent par former des bancs, le plus souvent calcaires, dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs centaines de mètres.

Si nous fouillons ces couches superposées, nous trouvons généralement tous leurs éléments soudés entre eux soit par de la silice, soit par du carbonate de chaux, que l'eau contenait en dissolution. Les plus inférieures, à *matériaux* grossiers, portent le nom de *conglomérats;* en-

suite viennent les *grès*, puis les *argiles* [illegible] et enfin les *bancs calcaires* plus ou moins siliceux suivant la nature des organismes qui les ont formés. On donne le nom de *marnes* aux formations calcaires mélangées d'argile. Mais cette argile a une tout autre origine que celle du fond [illegible] l'indiquerons tout à l'heure.

Cette formation typique se rencontre souvent telle [illegible] souvent aussi des variations considérables [illegible] se rencontrer, suivant la nature du sol [illegible] suivant la durée de l'immersion [illegible] conglomérat ou poudingue [illegible] manquer absolument ou sur certains points [illegible] alors les sables commencent la série [illegible] une épaisseur énorme ou faire défaut [illegible] complètement. Quant au calcaire, son épaisseur [illegible] durée de l'immersion, et naturellement [illegible] place dans les terrains dont la formation [illegible] premiers âges du globe, alors que les êtres organisés n'existaient pas encore, ou ne présentaient [illegible] parties solides. Il va sans dire que si la mer n'avait [illegible] silice, ni carbonate ou phosphate de chaux, il n'y en aurait pas eu davantage ; mais je pense qu'une semblable circonstance ne s'est jamais rencontrée.

Au bout d'un temps plus ou moins long, la mer se retire, chassée par un soulèvement qui amène à fleur du sol le terrain de nouvelle formation.

Voyons maintenant ce qui se passe sur les parties de la surface ainsi soulevée au-dessus du niveau des océans. C'est ici que se manifeste l'influence du soleil avec toute son intensité.

L'air atmosphérique, alternativement sec et humide, exerce un commencement de désagrégation des parties solides ; ensuite vient la succession régulière de la chaleur diurne ou estivale et du rayonnement nocturne [illegible]

nal, qui continue cette œuvre de destruction lente, mais certaine ; puis les parcelles, ainsi isolées, sont transportées par le vent et accumulées sur certains points où un obstacle les arrête.

Mais les précipitations pluviales agissent avec bien plus d'énergie sur les surfaces émergées. Nous en connaissons l'origine : elles sont sans cesse renouvelées par l'évaporation que la chaleur solaire produit sur les terrains humides et sur toute l'étendue des océans et des mers. Leur abondance dépend en général de la température des régions inférieures de l'atmosphère, température qui, depuis le refroidissement de la croûte solidifiée, est à la merci des radiations solaires.

Ces condensations aqueuses, en arrivant sur le sol, contiennent en dissolution de l'oxygène et de l'acide carbonique, et de ce dernier gaz en proportion de la quantité répandue dans l'air. Elles se divisent alors en trois parties : la première, la moins importante, s'évapore immédiatement, la seconde pénètre dans le sol où elle subit des destinées diverses, et le reste ruisselle à la surface, se dirigeant vers les parties déclives, c'est-à-dire vers la mer.

Parmi les eaux d'infiltrations, les unes pénètrent dans les profondeurs, dans des bassins où elles s'accumulent et d'où elle ne sortent que par des puits artésiens naturels ou artificiels ; les autres, après avoir atteint une couche imperméable superficielle, rejoignent bientôt celles qui ont ruisselé à la superficie.

Toutes ces eaux pluviales, par l'oxygène et l'acide carbonique qu'elles renferment, exercent une action chimique sur toutes les roches tendres ou dures, au contact desquelles elles se trouvent.

D'abord toutes les substances solubles sont dissoutes; *tels sont les* sels alcalins et le sulfate de chaux. Sur les

substances insolubles surviennent des altérations qui le désagrègent. Le granit, par exemple, voit ses silicates alcalins transformés par l'acide carbonique en carbonates solubles. Une partie de la silice est dissoute ; le reste, sous forme de grains de quartz, est entraîné au loin ; enfin, le silicate d'alumine devient ce kaolin qui sert à la fabrication de la porcelaine. Les roches calcaires se dissolvent par la formation de bicarbonates, laissant isolés la silice sous diverses formes et le carbonate de magnésie très peu soluble. Les argiles, souvent condensées sous forme de schistes plus ou moins ardoisiers, sont désagrégées parcelle par parcelle et reviennent à leur forme primitive. Les sels de protoxyde de fer subissent l'action de l'oxygène et passent à l'état de peroxyde ; ils prennent une teinte rouge caractéristique, et cessent de former corps avec la roche encaissante. C'est ainsi que les quartzites ferrugineux les plus durs perdent leur consistance.

Il est facile de comprendre, d'après tout ce qui précède, comment se minéralisent, d'une façon si variée, toutes les eaux de condensation qui sillonnent les terrains émergés. Comme, en majeure partie, elles finissent par arriver à la mer, elles y déversent tous les composés solubles qu'elles ont recueilli dans leurs pérégrinations. C'est ainsi que s'est produite et se maintient la salure des eaux marines, ces eaux minérales par excellence.

Tous les matériaux solides suffisamment désagrégés sont entraînés par le courant des eaux qui finissent par se réunir en fleuves plus ou moins puissants. Ceux-ci les transportent à la mer, non sans avoir laissé des alluvions fluviales derrière les obstacles naturels, qui, momentanément, ont arrêté leur cours. Toutes les autres parties solides se déposent à leur embouchure dans les océans, plus ou moins loin, suivant leur volume et leur densité ; l'argile seule reste plus longtemps en suspension et ne se mélange qu'à

la longue avec les formations marines, telles que les bancs calcaires qu'elle rend marneux (1).

Surtout si un soulèvement du sol force la mer à se retirer, les dépôts fluviaux des embouchures finissent par former des barres élevées, derrière lesquelles l'eau douce s'accumule en nappes plus ou moins étendues, où alors les matériaux se précipitent. Puis, si un affaissement ramène l'eau salée, ces dépôts d'eau douce sont recouverts par des dépôts marins et ainsi de suite, jusqu'à ce que survienne une émersion de longue durée.

La mer, pendant les périodes d'immobilité, exerce sur les côtes des ravages analogues à ceux des fleuves. Les fragments de roches qu'elle arrache et que ses vagues roulent souvent pendant des siècles, donnent aux amas qui en résultent, un facies de rivage que les géologues reconnaissent facilement et qui leur permet de préciser les limites des anciens océans. Malheureusement, ces bancs de galets font souvent défaut, soit qu'ils ne soient jamais formés, soit que d'autres immersions les aient fait disparaître.

Il semblerait que ce soit ici le moment de parler de la formation des bancs de sel gemme, qu'on est tenté d'attribuer à la dessiccation de bassins marins clos et ne recevant pas suffisamment d'eau douce pour compenser l'évaporation. Mais, si certaines de ces masses salines peuvent avoir cette origine, la plupart doivent être attribuées à d'autres causes qu'il est impossible de préciser dans l'état actuel de la science.

Telles sont, d'une manière générale, les conséquences du dénivellement de l'écorce terrestre sous l'influence de la poussée exercée par l'éther confiné dans les interstices des atomes du noyau central, pour chercher à franchir la

(1) *Marne*, du mot gaulois *marga* qui fut reçu dans la latinité; *on le trouve* dans Pline (Littré).

barrière granitique qui l'enserre. Comme ces dénivellations ont eu toujours lieu dans les mêmes régions du globe, il en est résulté de nombreuses superpositions de terrains, dont la date relative est souvent difficile à fixer par suite des bouleversements qui sont survenus dans les intervalles, et dont tout à l'heure nous spécifierons les causes. Les nombreuses lacunes que présentent souvent ces archives de notre planète viennent encore augmenter ces difficultés.

L'aspect des différentes couches a été le premier guide des géologues. Mais la réapparition des causes qui leur avait donné un facies spécial, aurait rendu les classifications défectueuses et incomplètes, si les restes des êtres organisés qui ont vécu successivement aux différentes époques, n'étaient venus établir la contemporanéité de terrains d'apparence très différente, et démontrer que des milliers de siècles se sont souvent écoulés entre des formations absolument semblables.

Sauf pour les époques récentes, les traces évidentes des émersions ont disparu ; aussi pour tous les terrains qui ont été émergés dans les temps les plus reculés, on n'a pu que très rarement se rendre compte du régime des eaux pluviales qui ont circulé à leur surface. Le plus souvent alors, par suite de la dureté du sol, il n'y pas eu de collections fluviales proprement dites; tout s'est réduit à un ruissellement abondant.

§ 3. ÉPOQUES GÉOLOGIQUES.

Époque primitive, primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire.

Nous allons passer en revue les différentes assises des terrains de sédiment en indiquant leurs principaux caractères. *Nous suivrons, dans* cette description succincte, la

classification généralement admise, en indiquant les dénominations adoptées pour désigner cette succession de dépôts marins et d'eau douce.

1° *Terrains primitifs ou cristallins.* — Nous ne reviendrons pas sur le gneiss, qui, comme nous l'avons dit, forme la limite de la couche granitique et constitue le support de toutes les stratifications ultérieures. Quant aux détritus produits par l'action corrosive des premières eaux chargées d'acides, on n'a pu les observer qu'au Canada, dans la région du fleuve Saint-Laurent, d'où le nom de *laurentien* qu'on leur a donné. La base en est formée de silicate d'alumine englobant des fragments plus ou moins volumineux de la roche primitive ; les sables qui recouvrent ces dépôts grossiers sont agglomérés sous forme de grès calcifères. Aucune trace d'êtres organisés.

2° *Terrains primaires.* — La durée de leur développement comprend une période de temps immense, si toutefois la sédimentation n'a pas été alors plus rapide qu'elle ne l'a été aux époques subséquentes. C'est pendant leur formation que les êtres organisés ont apparu, et que se sont développés les végétaux et les animaux inférieurs. Les plantes sans fleurs et les invertébrés y ont prédominé.

Cette période, qui, à elle seule, paraît avoir été plus longue que toutes celles qui lui ont succédé, comprend cinq séries de dépôts à peu près distincts. Je dis à peu près, parce que leurs limites sont en général assez mal dessinées. En voici la suite.

— Le *cambrien*, ainsi nommé du pays de Galles, ancienne Cambrie, où il prédomine, apparaît d'abord. A sa base on trouve, outre des débris de roches cristallines, des bancs de grès importants. Le calcaire y fait complètement défaut, les premiers êtres organisés étant généralement nus.

— Vient ensuite le *silurien*, du nom des anciens Silures *qui habitaient* la contrée de la Grande-Bretagne où on l'a

découvert (pays de Galles). Il n'est pas démontré qu'il ait été précédé d'une période d'assèchement. La paléontologie seule le distingue de l'assise précédente. Les schistes argileux y prédominent ; entre leurs lames on trouve de nombreuses espèces de trilobites, crustacés inférieurs aujourd'hui disparus, et dont la forme rappelle celle de nos cloportes, avec un volume beaucoup plus considérable. Le calcaire y apparaît d'une manière bien nette, sans cependant être très abondant ; on y trouve des squelettes de polypiers et des coquilles de mollusques brachyopodes.

— Même indécision dans les limites qui séparent le silurien du *dévonien* (1). Ce sont toujours des schistes argileux auxquels succèdent des bancs de roches calcaires, cette fois plus importants. Cependant, sur beaucoup de points, on trouve, à la base, des débris grossiers de roches cristallines formant poudingue et conglomérat, ainsi que des grès dont l'épaisseur varie. On peut donc induire que dans bien des contrées, sinon partout, les dépôts dévoniens ont succédé à une période d'émersion du sol. Ainsi dans les bassins du Rhin et de la Meuse, il repose sur le cambrien avec un facies de rivage souvent très évident. Les premiers poissons apparaissent.

— Jusqu'ici les continents nous sont peu connus ; sans doute à cause de leur minime élévation et de leur envahissement fréquent par les océans ; mais, à partir de l'époque *carbonifère*, ils s'accentuent d'une manière plus prononcée. La faune et la flore étaient jusque-là restées confinées dans les mers ; c'est à peine si, durant le silurien et même le dévonien, on voit apparaître quelques chétifs représentants des cryptogames vasculaires, que la mobilité des rivages arrêtait dans leur développement. Les algues et les fucus marins constituaient, à peu près seuls, le règne

(1) Du *Devonshire* (Angleterre), où ce terrain a été primitivement étudié.

végétal. Aussitôt que des terrains solides se constituèrent, leurs rivages marécageux furent littéralement envahis.

Les larves pisciformes des batraciens sortirent de l'eau et se transformèrent en animaux terrestres comme le font encore aujourd'hui leurs descendants dégénérés; il en fut de même de diverses espèces d'insectes, dont la première partie de la vie se passe dans les eaux. Tous se mirent à grouiller et à voleter dans ces terrains humides, où se développaient des fougères, des prêles, des lycopodes et autres espèces analogues, dont le port monstrueux nous étonne aujourd'hui. La chaleur tropicale, qui régnait alors partout, et la surabondance de l'acide carbonique dans l'air, favorisèrent singulièrement cette végétation exubérante, dont nous avons déjà signalé l'uniformité. On vit même bientôt quelques cycadées et conifères, à fleurs gymnospermes, apparaître plus avant dans les terres.

Mais la stabilité des rivages était encore loin d'être assurée; végétaux et animaux ne jouissaient pas longtemps des avantages de leur nouvel habitat. La mer avait des retours brusques et allait arracher tous ces arbres à végétation rapide, aux pentes plus ou moins inclinées de la rive, entraînant dans son reflux tous les êtres organisés et les ensevelissant dans des lagunes d'eau saumâtre, sous des monceaux de sable où nous les retrouvons aujourd'hui transformés en houille. Ces bouleversements se renouvelèrent à des époques rapprochées et multiplièrent les bancs de charbon fossile.

Cette fixation définitive de masses énormes de carbone, eut des conséquences d'une importance extrême. Elle prépara l'évolution ultérieure de tous les animaux à respiration aérienne, dont le développement eût été longtemps encore entravé par la quantité trop considérable d'acide carbonique répandue dans l'atmosphère. Cette houille,

qui fait aujourd'hui la fortune de l'homme, a donc assuré sa venue, il y a des millions d'années.

Les couches carbonifères, comme nous venons de le voir, ne présentent pas les caractères réguliers de la formation typique que nous avons décrite plus haut. Elles sont limitées aux rivages : c'est une succession alternante de dépôts marins et saumâtres, et leur disposition régulière autour des grands bassins océaniques démontre bien qu'à cette époque, les précipitations pluviales ne se réunissaient pas pour former de véritables fleuves, mais s'écoulaient en nappes sur le sol peu perméable.

— Le terrain *permien*, que beaucoup de géologues ne séparent pas du carbonifère, a peu d'importance. Il paraît caractérisé par une extension momentanée des mers sur des terrains émergés. Les sables, que nous retrouvons sous forme de grès, sont les dépôts prédominants. On y trouve les restes des premiers reptiles terrestres qui, dans les temps secondaires, prirent un développement si considérable. Le nom de cette formation lui vient de celui d'une province de la Russie d'Europe (Perme), où elle recouvre de vastes plaines, mais sous une très faible épaisseur.

3° *Terrains secondaires*. — C'est durant les temps secondaires que les reptiles marins et terrestres sont parvenus à leur plus grand degré de développement, soit comme nombre, soit comme taille. Celle-ci atteignit même des proportions extraordinaires auxquelles aucun individu du règne animal n'est parvenu depuis. L'*Atlantosaurus* des montagnes Rocheuses (jurassique) devait atteindre et même dépasser 30 mètres de longueur. Son fémur mesurait 2m,50, avec une largeur de 63 centimètres à la partie supérieure. Les mollusques céphalopodes, ammonites et belemnites, que rappellent les nautiles et les sèches actuels, furent aussi très abondants, surtout dans les fonds

vaseux qui se traduisent aujourd'hui par des bancs d'argile plus ou moins épais.

Mais le fait le plus mémorable des temps secondaires est l'apparition des animaux à sang chaud ou à température constante. On peut suivre le passage graduel des reptiles aux oiseaux ; celui des reptiles aux mammifères est moins bien connu.

D'une manière générale, le terrain *triasique* (1), par lequel débute le secondaire, paraît avoir succédé à une période d'assèchement, spécialement en France où ses dépôts sont tourmentés et formés de matériaux grossiers. Avec le *lias* (2), première couche du jurassique, les sables d'abord, puis les argiles prédominent. Enfin l'assise *oolithique* est presque exclusivement calcaire; elle a été formée par des mollusques bivalves variés, des polypiers et des crinoïdes, animaux fixés au sol, qui sont de la même classe que les étoiles de mer. Sur beaucoup de points, la mer ayant perdu, pour une cause ou pour une autre, l'acide carbonique qui maintenait le carbonate de chaux en dissolution, laissa déposer une couche de ce sel sur toutes les coquilles et sur leurs fragments; les plus petits, de beaucoup les plus nombreux, prirent la forme de petits œufs (oolithes). Les montagnes du Jura sont presque entièrement formées par le lias et l'oolithe, d'où le nom de *jurassique* donné à ces deux formations.

A cette époque de la période secondaire, des émersions partielles tendent à se produire; aussi, les premières couches du terrain *crétacé* (3) sont-elles généralement composées de sable et d'argile. Survint ensuite une longue période de calme, pendant laquelle des dépôts puissants

(1) Le nom de *trias*, ou triade, a été donné à cet étage parce qu'il est composé de trois couches distinctes.

(2) *Lias*, mot anglais dont la signification est peu précise.

(3) *Du latin cretaceus*, de *creta*, craie.

de craie se formèrent, atteignant souvent 600 mètres et plus. Ces conditions amenèrent la fin des ammonites et des bélemnites qui se plaisaient beaucoup mieux dans les vases du lias que dans les eaux limpides, où se firent les dernières stratifications des terrains secondaires. Dans beaucoup de régions, cette craie est presque uniquement formée par des carapaces microscopiques de foraminifères innombrables.

4° *Terrains tertiaires.* — L'époque de ces formations nous montre les effets de la réduction de la masse du Soleil. Dans l'hémisphère nord, le climat tropical ne dépasse plus guère le 60e degré de latitude. Les continents tendent à présenter leurs contours actuels. Après l'exhaussement du sol qui eut lieu à la suite de la période crétacée, les mers, que de nouvelles dépressions viennent à former, sont peu profondes; elles se retirent bientôt, faisant place à des collections d'eau saumâtre ou franchement lacustre, puis reviennent momentanément pour rentrer de nouveau dans le lit des océans. Ces alternatives se multiplient en diminuant de durée, laissant des dépôts de moins en moins importants. La succession de ces phénomènes est surtout manifeste dans le grand bassin anglo-français, limité chez nous, au nord, par les Ardennes qui, avant le crétacé, s'étendaient jusqu'au cap Gris-Nez; à l'est, par les Vosges et le Morvan; enfin au sud, par le plateau central et le massif granitique de la Bretagne. Cette vaste excavation paraît s'être formée vers la fin de l'époque carbonifère. Tous les dépôts secondaires s'y sont engouffrés successivement, et elle fut définitivement remplie par la première partie des terrains tertiaires connus sous le nom d'*éocène* (1); il n'en reste que deux bassins fluviaux : ceux de la Loire et de la Seine.

(1) Ἠώς, *aurore*, et καινός, *récent*.

Les conditions climatériques de l'époque tertiaire favorisèrent singulièrement le développement des mammifères, qui, dans les temps secondaires, n'étaient représentés, dans nos contrées, que par de petites espèces de marsupiaux dont la dentition, que nous pouvons seule apprécier, présentait des caractères reptiliens, tels que l'isolement plus ou moins complet des denticules. A des espèces plus grandes de ce même ordre, qui rappellent les formes actuelles de l'Australie, succédèrent bientôt des mammifères franchement placentaires. Durant le *miocène* (1) et le *pliocène* (2) qui, avec l'éocène, constituent les trois divisions du tertiaire, apparurent d'immenses troupeaux d'herbivores que nourrissaient des pâturages dont l'étendue s'accroissait sans cesse. Cette proie facile et abondante eut pour conséquence le développement des grands carnassiers.

La flore phanérogame suivit une progression parallèle; les fruits charnus des espèces tropicales hâtèrent l'évolution des lémuriens déjà fort anciens: singes et anthropoïdes se montrèrent partout. Le plus élevé d'entre eux, véritable précurseur de l'homme, connaissait déjà le feu et se servait, comme arme, de silex éclatés par la chaleur artificielle et retaillés ensuite.

5° *Temps quaternaire.* — Cette période est très intéressante à un double point de vue. D'abord, c'est celle où l'être humain commence à se montrer sous une forme à peu près identique à celle actuelle ; ensuite, nous subissons directement aujourd'hui toutes les conséquences des phénomènes géologiques dont elle a été le théâtre. Nous entrerons donc à son sujet dans des détails plus circonstanciés, spécialement à propos de l'Europe occidentale.

(1) Μεῖον, moins, et καινός, récent.

(2) Πλεῖον, plus, καινός, récent.

Après les dépôts littoraux de la fin du tertiaire (pliocène), la France méridionale, l'Italie, et en général tout le bassin méditerranéen, avaient l'aspect actuel, si ce n'est que la péninsule Hispanique était réunie au Maroc. La séparation des colonnes d'Hercule a eu lieu beaucoup plus tard, et aujourd'hui la faune maritime de l'Atlantique, qui a envahi la Méditerranée, n'a pas encore dépassé le méridien de la Corse et de la Sardaigne. On a prétendu que l'Italie était alors réunie à l'Afrique par la Sicile ; mais cette hypothèse n'est pas suffisamment étayée. Quant aux montagnes, elles étaient ce qu'elles sont aujourd'hui ; les Alpes seules n'étaient pas tout à fait complètes, et surtout elles n'avaient pas cet aspect déchiqueté qui les caractérise actuellement.

Le grand bassin anglo-français, dont nous avons parlé plusieurs fois, était évacué par les eaux ; la France et l'Angleterre se trouvaient, depuis la presqu'île du Cotentin jusqu'un peu au delà du cap Gris-Nez, réunies par l'ensemble des terrains qui avaient rempli le vaste cirque que nous avons décrit. La Seine et la Somme parcouraient, dans la direction du sud-ouest, l'espace aujourd'hui occupé par la Manche, et se jetaient dans l'Atlantique au fond d'un golfe dans lequel s'engouffrait le courant marin du sud-ouest. C'est ce courant qui, par ses efforts continus, a fini par former la Manche et le Pas-de-Calais, en désagrégeant les couches superficielles du terrain crétacé, comme il le fait encore de nos jours le long des falaises de la Normandie et de la Grande-Bretagne.

Le climat de toute la zone centrale de l'Europe était identique à celui du bassin méditerranéen, dont la température n'était pas beaucoup plus élevée qu'elle ne l'est aujourd'hui. C'est la dernière trace de cette uniformité climatérique qui a régné sur la terre durant les époques primaires et *secondaires*. L'hippopotame d'Afrique se baignait

dans nos fleuves, dont les bords, couverts de forêts et de pâturages, étaient peuplés d'éléphants et de rhinocéros analogues à ceux des pays chauds. La flore était en rapport avec cette faune. On retrouve partout, dans des tufs calcaires de cette époque, le figuier sauvage avec ses fruits, l'arbre de Judée, le laurier noble, et une foule d'autres plantes que l'abaissement de la température a, depuis, refoulées vers le sud.

L'être humain, présentant encore des caractères simiens prononcés, vivait au milieu de cette nature vigoureuse. Sa taille s'était développée; ses instruments de silex taillé étaient plus soignés que ceux de son ancêtre tertiaire; mais leur caractère uniforme indique une industrie très limitée, qui permet d'induire que son régime était encore foncièrement frugivore. Les vêtements lui étaient inconnus; peut-être même avait-il encore un reste du pelage des anthropoïdes. Du reste, aucune des races inférieures de notre époque ne présente des signes de bestialité aussi prononcés.

Cette première partie de l'âge quaternaire fut de courte durée, si on la compare aux époques géologiques antérieures; mais elle fut assez longue pour amener des modifications profondes dans les conditions climatériques, et, par conséquent dans la faune et la flore, qui devinrent sensiblement semblables à celles de notre temps. Les espèces des pays chauds disparurent pour la plupart; quelques-unes se transformèrent. L'*Elephas antiquus* devint le mammouth muni d'un pelage épais, et le *Rhinoceros Merkii* se transforma en *Rhinoceros tichorinus*, dont les narines fortement cloisonnées pouvaient supporter deux énormes défenses; une fourrure abondante le garantissait également du froid.

L'homme, perfectionnant son outillage, avait adopté le *régime* carnivore et se couvrait de la peau de ses victimes.

C'est qu'en effet, la seconde époque quaternaire fut caractérisée par une température froide et humide, et accompagnée de précipitations pluviales d'une abondance et d'une persistance qui n'ont plus été observées depuis. Ces pluies, transformées en neige sur les grandes chaînes de montagnes, les couvrirent de glaciers gigantesques dont les moraines terminales nous donnent aujourd'hui les limites exactes.

Les causes de cette grande période glaciaire ont beaucoup préoccupé les géologues. Elles sont néanmoins bien faciles à saisir. L'abaissement progressif de la température est incontestablement la première; viennent ensuite les conditions spéciales dans lesquelles se trouvaient alors l'Europe et l'Amérique du Nord, qui, elle aussi, a eu son règne des glaciers, bien qu'à un moindre degré. Dans ces deux contrées du globe, l'océan circumpolaire avait une étendue énorme. En Amérique, il pénétrait entre les montagnes Rocheuses et les monts Apalaches jusqu'au cours moyen du Mississipi. En Europe, il recouvrait la côte orientale de l'Angleterre, la Hollande, le Jutland, l'Allemagne du nord, la Pologne et toute la Russie d'Europe jusqu'au delà de Moscou; les monts Ourals le limitaient à l'est. Du milieu de cette vaste étendue d'eau, surgissaient uniquement les Alpes scandinaves et les montagnes du nord de la Finlande. A l'époque dont nous parlons, ces vastes chaînes étaient entièrement recouvertes de glaciers d'où les flots arrachaient d'énormes icebergs, qui, entraînés vers le sud, déposaient, en fondant durant leur parcours, des sables, des graviers et d'énormes blocs erratiques détachés des pentes abruptes des massifs norwégiens et finlandais. Ce sont précisément tous ces dépôts glaciaires qui ont permis de limiter la vaste enceinte maritime que nous venons de décrire.

Mais à *cette source abondante* d'humidité s'en joignait

une autre non moins efficace ; je veux parler de la mer saharienne. En effet, dans les temps dont nous parlons, toute la côte barbaresque, avec les chaînes nombreuses de l'Atlas, était isolée du reste de l'Afrique par une vaste étendue d'eau qui recouvrait le grand désert et la région des chotts. On a prétendu nier cette immersion d'un sol aujourd'hui absolument desséché, à cause de la rareté des restes de la faune marine. Mais les conditions climatériques survenues depuis étaient les plus propres à désagréger le calcaire d'origine organique qui a dû s'y déposer. Du reste, le versant sud des montagnes algériennes montre encore les traces évidentes des cours d'eau qui se rendaient dans cette mer intérieure, et de la végétation luxuriante qui, sous son influence, s'était développée sur leurs bords. Les vents du sud, comme les vents du nord, accumulaient donc au-dessus de l'Europe centrale des vapeurs qui s'y condensaient sous l'influence d'une température relativement basse.

Ces condensations aqueuses, tombant sous forme de neige sur les Vosges, le Plateau central et les Pyrénées, y developpèrent des glaciers importants. Mais ce phénomène prit sur le massif alpestre, plus élevé et plus étendu, des proportions extraordinaires. Toute la Suisse était ensevelie ; le glacier du Rhône, d'un parcours de 400 kilomètres, venait jusqu'aux portes de Lyon, recouvrant les monts Salèves et une partie du Jura. On y trouve encore à plus de 1 000 mètres d'altitude des blocs erratiques arrachés aux masses granitiques centrales. Les parois des lits de ces immenses glaciers, nous montrent des surfaces polies et des sillons, résultats du frottement de tous ces blocs cristallins, usés eux-mêmes sur une partie de leur contour. Argile, calcaire, silex, tout fut entraîné par ces fleuves solides, qui déposèrent ces débris informes sur leurs rives, et spécialement là où l'élévation de la tem-

pérature les faisait fondre au fur et à mesure de leur arrivée. Ainsi s'accumulèrent ces moraines terminales qui, plus tard, devaient arrêter le cours des torrents, et former, en amont, des lacs analogues à celui de Gérardmer dans les Vosges.

Pendant ce temps, des pluies torrentielles s'abattaient sur les basses terres, ravinaient et dénudaient les plateaux, élargissaient et approfondissaient les vallées, entraînant, par leur courant rapide, trente et quarante mètres des dépôts formés par les eaux tertiaires, et les transportant plus loin, même jusqu'à la mer. Les eaux de ruissellement, avant d'atteindre les rivières, déposaient çà et là des sables mélangés d'argile ou de graviers plus ou moins volumineux. C'est à ces lambeaux de terrain nouveau qu'on a donné le nom de lehm et de loess ou de diluvium; on y trouve les débris de la faune d'alors, ainsi que les traces de l'industrie humaine.

Malgré la présence de ces masses d'eau congelée, la température générale de l'hémisphère nord n'était pas très basse. Ainsi, en Sibérie, de l'autre côté de l'Oural, une végétation abondante nourrissait de nombreux troupeaux de mammouths (*Elephas primigenius*) et de *Rhinoceros tichorinus*, absolument identiques à ceux d'Europe.

Mais tout à coup les pluies cessèrent, un froid sec survint, qui, congelant le sol et les fleuves sibériens, firent périr par milliers tous ces grands pachydermes, dont plusieurs ont été trouvés, il y a quelques années, debout au milieu des glaces, dans un état de conservation si parfaite que des chiens ont pu se repaître de leur chair, encore fraîche après tant de siècles écoulés. Nous trouvons chez nous la preuve de la suspension brusque des condensations atmosphériques abondantes, dans la forme aplatie du fond des vallées d'érosion. On voit que les vastes fleuves quaternaires, larges souvent de plusieurs kilomètres, se sont transformés

subitement en ces maigres ruisseaux qui errent çà et là sur leurs alluvions, sans pouvoir les entamer. Il n'en fut pas de même pour les cours d'eau alimentés par les glaciers; ils conservèrent longtemps encore une partie de leur puissance, car toute cette eau solidifiée dut mettre bien du temps à repasser à l'état liquide.

C'est à la fusion lente de ces monceaux énormes de glace qu'il faut attribuer le froid qui persista dans nos contrées pendant cette dernière partie de l'époque quaternaire. Le renne, auquel ce climat convient, pullula d'une façon extraordinaire. On trouve ses débris partout; cependant il ne franchit ni les Pyrénées ni les Alpes. Quant aux mammouths et aux rhinocéros, ils disparurent définitivement comme en Sibérie.

La cessation des neiges et des pluies diluviennes fut la conséquence de l'émersion complète de la partie des continents que nous avons vue ensevelie sous les eaux. Leur soulèvement se fit certainement avec lenteur comme tous les mouvements géologiques, mais sans doute aussi avec assez d'ensemble, pour que toutes ces vastes étendues fussent asséchées en même temps. Les lacs de la Finlande, de la Suède en Europe, et de la frontière du Canada en Amérique, sont les seuls restes de l'ancienne immersion de ces terrains continentaux du Nord. Il doit en être de même des chotts algériens par rapport à la mer saharienne, avec cette différence que l'exhaussement du seuil de Gabès, leur enlevant toute communication avec la Méditerranée, les força à conserver leur salure.

Pendant ce temps, l'intelligence de l'homme se développait sous l'influence de la lutte pour l'existence. Il perfectionna ses instruments de silex à un tel point qu'aujourd'hui on serait fort embarrassé d'en exécuter de semblables. Dans son alimentation animale, le cheval domina d'abord, comme on l'a constaté à Solutré où ses

débris abondent ; puis il lui substitua le renne, qui devenait de plus en plus commun. Il sut alors se servir des bois et des os de ce ruminant pour la confection des outils les plus délicats, dont la fabrication se trouvait ainsi singulièrement facilitée. Les restes si nombreux de cette industrie, que l'on a découverts dans le bassin de la Vézère, dans le Périgord, nous montrent qu'à la chasse il avait joint la pêche et la navigation fluviale pour satisfaire aux besoins de son alimentation. On a même trouvé de nombreux objets d'art, tels que gravures et sculptures sur os et bois de renne, représentant des mammifères, des poissons et l'homme lui-même. Chose remarquable, on n'a jamais rencontré aucune espèce de fétiche ; il n'avait pas non plus le culte des morts, car on n'a retrouvé aucune trace authentique d'inhumations remontant aux temps quaternaires. Les superstitions n'apparurent qu'avec l'époque actuelle, en même temps que la domestication des animaux et des plantes, au moment où, dans nos pays, le mélange des races se produisit sous l'influence d'immigrations d'origine plus ou moins lointaine.

Après la fonte complète des glaciers, la température s'éleva ; les animaux, comme le renne, auxquels le froid était favorable, émigrèrent vers le nord, et d'autres se retirèrent dans les régions élevées des pays de montagnes. Enfin, la faune et la flore revêtirent les formes que nous observons aujourd'hui.

Une question se pose ici tout naturellement : que sont devenues ces vastes étendues d'eau salée qui recouvraient le nord de l'Europe et du continent américain ? Il doit, en effet, exister une certaine solidarité entre toutes les parties de la surface solide du globe ; lorsque certaines régions s'élèvent, d'autres doivent s'enfoncer. Malheureusement, les éléments nécessaires à la solution du problème, font complètement défaut ; on en est réduit aux conjectures.

Peut-être l'Amérique centrale s'est-elle enfoncée sous les eaux pour former le golfe du Mexique, d'où nous viennent, depuis, ces courants d'eau chaude qui ont fait disparaître les glaces des montagnes de l'archipel britannique, ainsi que des Alpes scandinaves. Peut-être aussi le vaste groupe des îles polynésiennes est-il le reste d'un continent immergé par compensation de l'exhaussement boréal. C'est aux géologues de l'avenir qu'il appartient de vérifier ces hypothèses.

On doit également se demander combien de temps a pu durer la période glaciaire. Cette question a fort agité les hommes de science. Sans vouloir entrer dans la discussion, nous dirons seulement qu'au train où marchent les glaciers actuels des Alpes sur leurs pentes si rapides, un bloc de glace, parti des sommets du glacier du Rhône, aurait mis environ mille ans pour arriver jusqu'à Lyon. Or, nous savons d'une manière certaine qu'il y a eu de nombreux retraits des glaces, suivis de nouvelles progressions souvent très étendues, à des intervalles assez considérables pour que toute une flore se soit développée sur les moraines frontales abandonnées. Les géologues qui assignent aux grands glaciers une durée de deux cent mille ans, ne s'éloignent donc pas beaucoup de la vérité. Qu'on juge par là quelle doit être l'ancienneté de l'homme! Mais ces chiffres, si considérables qu'ils nous paraissent, ne sont que des fractions infinitésimales de ceux qu'il faudrait attribuer aux grandes périodes géologiques. Comme je l'ai déjà tant de fois répété, dans l'histoire du monde, nos mesures du temps, des distances et de l'étendue sont absolument inapplicables.

Cette étude, bien écourtée, de la période quaternaire nous montre l'esprit vraiment scientifique qui inspira Gabriel de Mortillet, lorsque, dans le *Préhistorique* (1), il divisa

(1) *Bibliothèque des sciences contemporaines*, t. VIII.

cette période, relativement à l'homme, en quatre époques désignées par les noms des localités où les traces de son industrie présentaient les caractères les plus tranchés. Ce sont par ordre de succession : l'époque de Chelles (1), comprenant l'espace de temps qui s'est écoulé depuis la fin du tertiaire jusqu'à la formation des glaciers ; celle du Moustier (2) qui fut contemporaine des grandes précipitations aqueuses ; celle de Solutré (3) qui suivit immédiatement, et enfin celle de la Madeleine (4) qui dura jusqu'à l'époque actuelle. Elles désignent d'une manière bien précise les différentes phases qu'a présentées l'évolution de l'être humain dans l'Europe occidentale pendant le quaternaire, évolution qui, préparée pendant la période tertiaire, s'est continuée jusqu'à nos jours.

Tous les mouvements du sol, dont nous venons d'exposer les conséquences, ont eu pour siège les continents actuels et les régions des îles qui en sont la continuation sous-marine. Cette agitation a été beaucoup plus considérable dans l'hémisphère boréal. Les soulèvements et les abaissements s'y succédèrent d'une manière continue, pendant que l'hémisphère austral jouissait d'un calme relatif. Aussi le développement des êtres organisés fut-il beaucoup plus lent au sud de l'équateur. La flore et surtout la faune étaient très pauvres dans ces régions, lorsque les Européens les découvrirent et y firent invasion.

Le synchronisme des dépôts qui furent la conséquence des oscillations des continents septentrionaux, est difficile à établir. Dans une même dépression, les terrains stratifiés varient de nature suivant les contrées, même à des distances rapprochées, par suite de la différence des maté-

(1) Département de Seine-et-Marne, arrondissement de Meaux.
(2) Le Moustier, commune de Peysac (Dordogne).
(3) Département de Saône-et-Loire, arrondissement de Mâcon.
(4) Département de la Dordogne, arrondissement de Sarlat.

riaux amenés par la mer ou par le ruissellement des eaux sur les terres émergées. Ici, ce sont des fragments souvent volumineux de roches anciennes ; plus loin, des sables ou de l'argile ; ailleurs, dans un golfe où l'eau était plus calme, on voit s'élever un énorme banc de coraux calcaires.

L'égalité de niveau pourrait établir leur contemporanéité, mais, pour des causes que nous allons exposer tout à l'heure, elle a le plus souvent disparu depuis longtemps. Les difficultés augmentent encore quand il s'agit de mers séparées par des distances considérables, comme lorsque l'on veut comparer les dépôts européens avec ceux de l'Amérique du Nord. Le problème du synchronisme ne peut être alors résolu que par la paléontologie.

Généralement ce sont les mollusques à tests calcaires qui servent de point de repère. Il est, en effet, des espèces cosmopolites que l'on retrouve partout ; mais comme ces animaux ont eux-mêmes évolué, il faut bien préciser les espèces qui correspondent à tel âge de la Terre ; encore leur abondance doit-elle être prise en considération, car il en est qui persistent pendant des temps infinis. D'abord rares, elles se mettent ensuite à pulluler d'une manière étonnante, pour ne présenter plus tard que des individus isolés, suivant les changements survenus dans les circonstances du milieu. C'est donc l'ensemble de la faune qui doit surtout guider.

Lorsqu'il s'agit de comparer des terrains continentaux ou lacustres à des terrains marins, les difficultés s'accumulent et sont souvent insurmontables. Ainsi, tandis que les dépôts éocènes achevaient de combler le bassin de Paris, les bassins du Rhône et de la Garonne étaient couverts par une mer relativement profonde. Il faut alors se guider sur l'état général des reliefs et sur la nature du sous-sol.

Il existe encore bien des lacunes ; ainsi on ignore abso-

lument ce qui s'est passé sur les terrains émergés pendant que se faisaient les énormes dépôts de l'époque crétacée. L'action de l'air et des condensations pluviales a fait sans doute disparaître les traces de la faune et de la flore, de telle sorte que l'évolution des mammifères a peut-être été moins rapide que nous ne le supposons; il se pourrait que bien des espèces, qui ont afflué au début du tertiaire, aient évolué ailleurs, et que leur grand nombre soit la conséquence de migrations en masse. Mais l'époque relativement récente du début des recherches permet d'espérer que ces lacunes finiront par être comblées.

Quand on jette les yeux sur les ouvrages de géologie, on est effrayé par le nombre des divisions et subdivisions des terrains, et aussi par les noms bizarres qui leur sont donnés. Cette multiplication des étages et des sous-étages, ce nombre considérable de couches et de feuillets, avec leur nomenclature barbare, paraît inutile à beaucoup de bons esprits, et éloigne certainement de l'étude de la géologie ceux qui, comme la grande majorité des amis de la science, tiennent surtout à se faire une idée nette des phases que la terre a parcourues. C'est sans doute l'effet d'un excès de zèle de la part des nombreux travailleurs; le temps, en amenant de nouvelles lumières, simplifiera, il faut l'espérer, toutes ces complications.

§ 4. PHÉNOMÈNES ÉRUPTIFS.

Formation des grandes chaînes de montagnes ; éruptionstrachytiques et basaltiques ; volcans; tremblements de terre ; sources thermales ; filons.

Les soulèvements et les dépressions, qui seuls nous ont occupés jusqu'ici, s'étant produits sur des roches cristallines complètement solidifiées, ont forcément amené dans ces masses de nombreuses fractures, qui rendirent

possibles des communications entre le noyau central du globe et son atmosphère.

Il en est un grand nombre qui sont simples, c'est-à-dire sans déplacement des surfaces disjointes ; mais d'autres présentent un chevauchement des fragments, qui arrive à mettre en contact des dépôts d'époques très différentes ; on désigne ces dernières sous le nom de *failles*. On peut fixer approximativement la date de leur production d'après le nombre et la nature des couches superposées qui se trouvent ainsi déplacées. Quant à l'âge des premières, il ne peut être précisé, car généralement elles se propagent aux terrains de nouvelle formation à mesure qu'ils se solidifient.

On comprend facilement que les cassures de l'écorce terrestre soient plus prononcées sur les bords des dépressions importantes ; c'est là, en effet, que se sont fait jour d'énormes masses pâteuses de granit, dilatées et ramollies par l'éther expulsé du noyau central.

Ce sont ces poussées formidables qui ont produit les grandes chaînes de montagnes que l'on observe le long de toutes les grandes inflexions de l'écorce terrestre, auxquelles elles sont généralement proportionnées. Le plus bel exemple en est fourni par les montagnes Rocheuses de l'Amérique du Nord auxquelles font suite les Andes de l'Amérique méridionale ; ces deux chaînes sont parallèles aux grands fonds de l'océan Pacifique. Les Apennins, qui traversent l'Italie du nord au sud, sont la conséquence des grandes profondeurs de la mer Adriatique et de la mer Tyrrhénienne. La dépression, aujourd'hui comblée, du centre de l'Amérique septentrionale est limitée à l'ouest par les montagnes Rocheuses et à l'est par les monts Alléghany. Le grand bassin anglo-français, dont nous avons énuméré les limites en France, en est un autre exemple ; la crête des Ardennes, qui en formait la rive septentrionale, ne présente pas, il est vrai, de roche gra-

nitique ; mais le redressement des couches cambriennes, siluriennes et dévoniennes ne peut s'expliquer que par une éruption de ce genre, et les volcans éteints de l'Eifel montrent bien que le granit est proche, s'il n'a pas affleuré.

On a beaucoup discuté pour savoir si la production des chaînes de montagnes était due à un soulèvement de masses encore fluides ou à une rétraction des parties centrales de la planète, attirant vers elles les terrains environnants. Cette discussion me paraît oiseuse, car il est bien clair que les deux phénomènes sont concomitants. Le noyau central se rétracte et se trouve au large dans son enveloppe de granit ; en outre, l'éther qu'il expulse s'accumule dans les couches profondes de cette formation primitive ; celles-ci, plus dilatées que la pellicule solide qui les recouvre, tendent à s'échapper par les points les plus faibles, et les parties voisines s'affaissent pour combler le vide qui se produit. Il n'est pas nécessaire, pour compléter l'explication, de faire intervenir l'influence d'infiltrations aqueuses, d'ailleurs problématiques. Les inclusions liquides et gazeuses que présentent certains cristaux du granit, proviennent, comme nous l'avons déjà dit, de l'atmosphère primitive au contact de laquelle ils se sont formés, alors qu'elle était surchargée de vapeur d'eau, d'acide carbonique et d'autres gaz.

Ces éruptions des roches cristallines, par masses énormes, ont produit une véritable dislocation des couches sédimentaires du voisinage. Celles situées immédiatement au-dessus de la poussée, ont été soulevées, puis culbutées dans différents sens. Les plus éloignées ont subi des pressions latérales d'une puissance incalculable. Toutes celles qui contenaient plus ou moins d'argile, ont pris, sous cette influence, une structure lamelleuse analogue aux schistes ardoisiers. Puis sont survenus des plissements anguleux *que l'on peut constater* dans les sédiments carbonifères

d'Anzin, ou de simples ondulations, comme celles qu'ont subies les terrains secondaires du Jura. On observe des métamorphoses beaucoup plus complètes dans les strates immédiatement en contact avec la masse en voie d'éruption. La chaleur vient alors compliquer les effets de la pression; c'est ainsi qu'un calcaire coquillier humide a souvent été transformé en marbre cristallin.

Les grands soulèvements causés par les éruptions granitiques, se sont produits à toutes les époques géologiques, sauf durant les temps secondaires, du moins pour les contrées jusqu'ici sérieusement explorées. En France, le plateau central est le plus ancien; puis vient le massif breton où la roche cristalline est presque partout dénudée. Ensuite apparurent les Vosges et enfin les Ardennes, qui ont pour ainsi dire clos l'ère primaire. Les Pyrénées et les Alpes surgirent successivement durant les temps tertiaires.

Il est évident, d'après ce qui précède, que les chaînes de montagnes sont les points faibles de l'écorce terrestre, tandis que les fonds des grands océans en sont les parties les plus résistantes. En effet, tous les phénomènes éruptifs dont il nous reste à parler se sont passés autour d'elles.

Les premiers en date sont les volcans homogènes ou sans cratère, espèces de cheminées plus ou moins sinueuses qui, à travers les terrains les plus divers, ont donné issue à des pâtes cristallines telles que le trachyte et le basalte; celui-ci, par le refroidissement, se rétracte sous forme de prismes polygonaux volumineux, qui donnent à la *Chaussée des Géants* et à la grotte Fingal leur aspect si extraordinaire. Ces éruptions se sont faites lentement et sans secousses, comme les poussées granitiques, c'est-à-dire sans l'intervention de la vapeur d'eau.

Il n'en est pas de même des volcans proprement dits, *tels que* ceux qui sont encore de nos jours en activité. Les

matières qu'ils vomissent par explosion et à des intervalles souvent considérables, ont subi l'influence de vapeurs aqueuses fortement comprimées et à une haute température. Elles-mêmes sortent avec violence et forment au-dessus du cratère des nuages, dans le sein desquels se forment de véritables orages. Néanmoins, les laves d'éjection ont une composition qui démontre leur origine granitique. On ne connaît aucune de ces sortes d'éruptions qui ait débuté avant l'époque tertiaire.

Les tremblements de terre, sur lesquels nous n'avons pas à nous étendre, sont dus à des chocs violents de la matière en fusion contre l'écorce granitique qui l'enserre; on comprend alors pourquoi ces vibrations du sol s'observent toujours dans le voisinage des différents genres d'éruption, surtout les plus récentes. La science est maintenant fixée à ce sujet.

Les sources thermo-minérales, dont souvent la température est très élevée, proviennent d'infiltrations qui ont pénétré à une grande profondeur et s'y sont chargées de composés chimiques variés ; elles ont donc certaines relations avec les volcans dans le voisinage desquels on les observe le plus souvent. On ne peut néanmoins les distinguer d'une manière bien nette des autres sources, qui contiennent également des substances minéralisatrices plus ou moins abondantes. La thermalité et la nature des substances en dissolution dépendent de la profondeur à laquelle les infiltrations sont parvenues. Disons en passant que quelques-unes ont joué un rôle géologique d'une certaine importance, soit en amenant à la surface des matériaux tels que les sels de fer, soit en métamorphosant d'anciennes roches sédimentaires. Il est, en effet, démontré aujourd'hui que le gypse ou pierre à plâtre est le résultat de la transformation de bancs de carbonate de chaux en sulfate, sous l'influence de sources chargées d'acide sulfurique. Cer-

tains géologues vont même jusqu'à prétendre que le sel gemme n'a pas d'autre origine. Nous devons, en outre, faire remarquer que les éruptions aqueuses des époques anciennes se caractérisaient par une abondance dont celles actuelles ne peuvent donner une idée.

Ce sont les cassures de la croûte terrestre qui donnent accès aux eaux d'infiltration et en facilitent la sortie. Dans les temps géologiques, elles ont dû pénétrer très près du noyau central, car elles ont ramené des métaux lourds, tels que le zinc, le mercure et le plomb, qui se sont concrétionnés dans les fentes sous les différentes formes chimiques dont on les extrait. D'autres métaux, tels que l'étain, l'or et le cuivre, paraissent avoir été entraînés, par de petites éruptions de matières granitoïdes qui les ont fixés, en passant de l'état pâteux à l'état solide. Cette question d'origine des corps simples métalliques, étrangers à l'écorce primitive, est encore fort obscure. Du reste, on s'en préoccupe peu, la recherche et l'exploitation des filons étant le but unique des ingénieurs des mines qui les étudient.

CONCLUSION.

Telles sont les révélations que la géologie nous a fournies sur le passé de notre planète. Certainement, cette histoire présente encore des lacunes, mais les grandes lignes en sont tracées avec une précision suffisante pour que l'on puisse affirmer que tout ce qui reste à découvrir, ne fera que compléter nos connaissances actuelles. En outre, tous les phénomènes qui se sont succédé durant ces longues périodes, ont été simplement le résultat de l'activité de la matière : attraction et affinité combinées avec la résistance passive de l'éther interposé.

DEUXIÈME SECTION. — ÉTAT ACTUEL DE LA TERRE.

§ 1. PRINCIPAUX ÉLÉMENTS ASTRONOMIQUES DE LA PLANÈTE.

Résumons d'abord les données relatives à la Terre considérée comme une des parties intégrantes des éléments du système solaire. Son volume est 1 283 720 fois plus petit que celui du Soleil, dont la masse est seulement 324 439 fois plus considérable ; il en résulte que sa densité est égale à celle de l'astre central multipliée par 4. Relativement à celle de l'eau, cette densité est représentée par 5,5.

Elle n'est pas exactement sphérique, mais présente au niveau de ses pôles un aplatissement tel, que son diamètre équatorial dépasse de 44 kilomètres le diamètre bi-polaire. Chaque pôle est donc surbaissé de 22 kilomètres sur les 6 666 que représente le rayon maximum.

Elle tourne sur elle-même en 23 heures 56 minutes 4 secondes, ce qui donne à chaque point de la circonférence équatoriale, qui mesure approximativement 40 000 kilomètres, une vitesse d'environ 500 mètres par seconde.

Dans son mouvement de circumvection autour du Soleil, elle décrit une ellipse de 235 millions de lieues, à raison de 29 kilomètres par seconde, avec une distance moyenne de 36 millions de lieues. Mais, comme le Soleil se transporte dans l'espace avec une vitesse à peu près égale à celle de la Terre, ce n'est pas une ellipse qu'elle décrit en réalité, mais une spirale elliptique à spires très allongées.

Il n'est pas inutile de rappeler que la masse de notre globe dépend du nombre des atomes qui le constituent, et que son volume et sa densité indiquent le point de concentration auquel ils en sont arrivés sous l'influence de l'attraction ; le premier diminue au fur et à mesure que *la seconde augmente.* Quant aux mouvements, nous sa-

vons qu'ils sont la résultante de celui des atomes, celui de circumvection étant dirigé et activé par l'attraction exercée par la masse centrale. Tout cela est purement et simplement de la physique, de la physique astronomique il est vrai, mais qui ne diffère de celle des laboratoires que par les proportions. L'atome minuscule et l'astre le plus volumineux obéissent d'une manière identique aux propriétés de la matière.

L'aplatissement des pôles a été produit, pendant que la planète était liquide à sa surface, par la lutte entre l'attraction et le mouvement propre des atomes qu'on désigne ordinairement sous le nom de force centrifuge, expression absolument impropre. En effet, si l'attraction, qui s'exerce suivant la direction du rayon de la sphère, mérite bien l'épithète de centripète, le mouvement en question ne suit pas la même direction, mais lui est perpendiculaire, comme tangent à la sphère ; il ne fuit donc pas le centre. Le raccourcissement du diamètre bipolaire ayant eu lieu pendant que l'écorce, aujourd'hui solidifiée, était à l'état liquide, il paraît probable que ce fut elle qui principalement diminua d'épaisseur. Nous verrons plus loin quelles observations viennent à l'appui de cette opinion.

§ 2. NOYAU CENTRAL.

Son état physique ; sa composition.

La constitution géologique de l'écorce terrestre ayant été exposée dans le paragraphe précédent, nous ne nous occuperons que de l'état actuel de sa superficie. Mais, avant d'aborder ce sujet, il est indispensable de compléter ce que nous avons dit sur le noyau central, par l'exposé des conditions dans lesquelles il paraît être aujourd'hui.

C'est sa température, ou mieux son degré de condensa-

tion, qui a surtout préoccupé les savants ; mais leur manière de concevoir la chaleur les a empêchés d'arriver non pas à la certitude, mais même à des probabilités de quelque valeur. Voyons s'il est possible de tirer à ce sujet des inductions précises de l'observation et de l'expérimentation.

Chaque fois qu'on a pu pénétrer à une certaine profondeur dans les entrailles de la terre, on a remarqué que le thermomètre s'élevait de 1 degré par 30 mètres parcourus. Il n'en est pas ainsi dans les abîmes des océans; on le voit bientôt descendre et s'abaisser jusqu'au voisinage de 0 degré, quelle que soit la latitude. On explique cette particularité par l'action des courants venant des pôles couverts de glaces. La densité de ces eaux les entraîne au fond des mers, où ils déplacent les couches dilatées par le contact du sol et les font remonter vers la surface. La mobilité du milieu liquide l'empêche donc de pouvoir nous guider dans nos recherches sur l'état de l'intérieur du globe. Par conséquent, nous devons nous en tenir aux observations recueillies dans les galeries de mines, dont les plus étendues ne dépassent guère 1 kilomètre en profondeur.

Si la progression de 1 degré par 30 mètres parcourus, se continuait jusqu'au centre de la sphère terrestre, ce qui n'aurait rien d'impossible d'après la théorie des vibrations calorifiques, la matière qui l'occupe aurait une température de plus de 220 000 degrés, c'est-à-dire 200 fois plus élevée que celle que l'on a cru pouvoir assigner à la photosphère du Soleil. Mais alors, toujours d'après la théorie régnante, cette matière, quelle qu'elle soit, aurait atteint depuis longtemps un état de raréfaction extrême, qui aurait fait éclater la planète comme une bombe, et en aurait dispersé les débris dans l'espace.

On est donc forcé d'admettre que la progression de la

température s'arrête à un point quelconque du rayon terrestre. Tâchons de préciser ce point.

Lorsque l'attraction, qui pousse les atomes les uns vers les autres, eut solidifié la couche liquide superficielle par suite de la facilité avec laquelle l'éther intermoléculaire pouvait gagner les espaces intersidéraux, la même propriété de la matière avait donné aux matériaux du centre une densité considérable, et par conséquent diminué dans de grandes proportions ses propriétés calorifiques. La partie liquide qui recouvrait cette masse solide et qui contenait encore beaucoup d'éther dans ses intervalles atomiques, était toujours sollicitée par l'attraction à l'expulser en dehors d'elle. Seulement, dans ces nouvelles conditions, ce fluide ne pouvait plus s'échapper avec la même facilité, les couches de granit cristallin étant mauvaises conductrices de la chaleur, comme l'expérimentation l'a établi. Il en résulte qu'il a dû s'accumuler forcément sous ces couches solides, après avoir abandonné plus ou moins complètement les parties centrales.

Nous sommes donc autorisé à induire que le maximum de température ou de dilatation de la matière constitutive du noyau terrestre, est situé immédiatement sous l'enveloppe cristalline primitive, et que celle-ci repose sur une couche liquide. Le centre, au contraire, doit approcher du maximum de condensation, c'est-à-dire du froid extrême. Cette distribution, si bizarre en apparence, de la température dans les différentes couches concentriques du globe, depuis la partie la plus extérieure et la plus raréfiée de l'atmosphère jusqu'au centre de figure, fait bien ressortir la fausseté de la théorie de la chaleur basée sur les vibrations des atomes, puisque le minimum du mouvement vibratoire coïnciderait à la fois avec l'extrême condensation et avec l'extrême raréfaction de la matière.

Quoi qu'il en soit, tous les phénomènes que, dans le

langage des savants de notre époque, on attribue à l'énergie intérieure de la terre, s'expliquent avec la plus grande facilité avec la théorie que je soutiens, Nous allons les passer rapidement en revue.

La surface des continents, malgré sa stabilité apparente, est animée d'oscillations lentes, mais continues. La presqu'île scandinave, suivant des observations qui remontent déjà à plusieurs siècles, subit le long des côtes des abaissements et des soulèvements. En Océanie, des îlots et même des îles d'une certaine importance, ont disparu depuis leur découverte. Ailleurs, d'autres se constituent à l'aide des récifs de coraux qui se développent sur le sommet de montagnes en voie d'émersion graduelle. Les constatations faites par les navigateurs sur un certain nombre des archipels de la Polynésie tendraient donc à confirmer l'hypothèse que j'émettais plus haut, à savoir la disparition d'un continent dans cette partie du globe, par compensation du grand soulèvement boréal de la fin de l'époque glaciaire. L'immersion des sommets de ces régions montagneuses ne serait pas encore terminée.

La France elle-même n'est pas plus stable. Non-seulement sur les côtes, mais même dans l'intérieur, son sol est sans cesse en mouvement. Les travaux de nivellement qui viennent d'être terminés sous la direction de M. Marx, comparés à ceux de Bourdaloue exécutés de 1859 à 1863, montrent que la dépression qui sépare le plateau central des Pyrénées s'élève de 2 à 6 millimètres par an. Si de Marseille on tire une ligne allant à Lille et passant par Lyon et Troyes, on observe un phénomène contraire. Il y a un affaissement qui augmente progressivement en allant vers le nord ; il est de 28 millimètres par an à Lille, soit près de 3 mètres en un siècle. D'ici trois ou quatre cents ans, Dunkerque sera enseveli sous les eaux de la mer du Nord, si la dépression continue à se produire.

Certainement, tous ces mouvements doivent se faire avec d'autant plus de lenteur qu'on s'éloigne davantage du début de la solidification de l'écorce terrestre, dont l'épaisseur tend sans cesse à augmenter, en même temps que celle de la zone liquide sous-jacente diminue; mais ils indiquent que la forme de ses reliefs est loin d'être définitive. Du reste, sa fixité aura sans doute été précédée depuis longtemps de la disparition de la vie à sa surface. Elle n'est donc pas à souhaiter.

Malgré la difficulté qu'éprouve l'éther à traverser l'écorce cristalline, ses couches profondes en sont plus ou moins imprégnées, et, au contact de la zone liquide, elles prennent une consistance pâteuse plus ou moins molle. Nous en avons vu les effets dans l'histoire des temps géologiques; mais il est nécessaire d'y revenir en ce moment. Actuellement, ils n'ont pas cessé ; les chaînes de montagnes continuent lentement leur mouvement ascensionnel, et les tremblements de terre qui s'observent autour d'elles, indiquent les efforts que font les couches granitiques profondes, pour se faire jour au dehors sous l'influence de leur faible densité. Ce phénomène est analogue à ce qui se passe lorsqu'on maintient un morceau de liège au fond d'un vase rempli d'eau : il lutte avec énergie contre la main qui le presse.

Le mouvement éruptif est singulièrement favorisé, lorsqu'à travers les cassures, l'eau de mer pénètre jusqu'au contact de la région ramollie. Son peu de cohésion facilite l'absorption de l'éther, qui décompose, en outre, les sels qu'elle tient en dissolution. Le mouvement de translation si énergique de tous ces atomes ou molécules ainsi disjoints, leur donne une tension énorme. Ils se font jour au dehors avec une énergie extrême, soulevant les obstacles par des explosions formidables ; la masse cristalline pâteuse la suit immédiatement, profitant de la voie ainsi frayée pour s'épandre au dehors.

Tels sont, en peu de mots, les phénomènes volcaniques. Jetez un coup d'œil sur une mappemonde et vous verrez que tous les volcans en activité sont situés dans le voisinage de la mer. Ceux de l'Auvergne, aujourd'hui éteints, étaient tout proches des mers de l'époque tertiaire, durant laquelle ils étaient en pleine activité.

En résumé, malgré leur caractère grandiose, tous ces phénomènes qui frappent tant notre imagination, reposent sur les principes de la physique, et de la physique la plus élémentaire; mais habitués à ne désigner sous cette dénomination que des expériences de laboratoire, nous avons peine à ne pas leur assigner des causes extraordinaires et même surnaturelles. Là, comme partout, les grandes proportions troublent notre entendement.

Maintenant que nous nous rendons compte de l'état physique de la masse centrale du globe terrestre, voyons s'il ne serait pas possible d'induire des observations et des expérimentations quelle peut être la nature des éléments qui la composent.

D'abord, nous avons vu précédemment que, malgré l'abondance de l'oxygène dans la nébuleuse terrestre, il était peu probable qu'il se soit combiné avec d'autres corps simples que ceux qui constituent la formation cristalline primitive, dont les couches supérieures désagrégées ont formé, après de nombreux remaniements, tous les terrains de sédiment qui les recouvre, ou ont été dissoutes par les premières mers. Tous ces éléments chimiques, y compris ceux qui se sont maintenus plus longtemps à l'état gazeux, ont un poids atomique faible qui les a rendus moins dociles à l'action de la pesanteur; d'ailleurs, leur affinité pour les métaux lourds est très minime. D'autre part, ceux d'entre ces derniers qui sont parvenus à la surface ou à son voisinage, ont été entraînés par des éruptions parties *de régions sous-granitiques*. Il est donc rationnel

d'admettre que le noyau central est formé de corps simples dont le poids atomique est plus considérable que celui de ceux de la surface. Reste à savoir dans quelles proportions ils sont mélangés et quels sont ceux qui prédominent.

La densité générale du globe terrestre, comparée à celle de l'eau, est de 5,50 ; tandis que celle de la croûte solide, y compris l'eau et l'air superposés, est beaucoup plus faible et n'atteint pas 2,75. Cette différence est compensée par le noyau central qui doit former environ les quatre cinquièmes de la masse totale, et dont la densité, par conséquent, peut être représentée par 8 ou 8,5. Étant donné le nombre relativement considérable des métaux lourds connus, ce chiffre doit être une moyenne dans laquelle les plus denses, tels que l'or (19,36), le platine (21,45), le plomb (11,35), l'argent (10,51), le mercure (14,39), etc., doivent être en infime minorité. Les plus abondants, au contraire, doivent donner un chiffre un peu inférieur à cette moyenne. Or, c'est le fer (7,20) qui remplit le mieux ces conditions.

Ce métal, en effet, existe partout; d'abord dans le noyau central, d'où il s'est échappé sous forme de blocs énormes, comme à Ovifak, dans le Groenland, et à Waigatt ; ensuite, toute l'écorce terrestre en est plus ou moins imprégnée. Il n'est pas un mètre cube des matériaux qui la constituent, qui n'en contienne une plus ou moins grande quantité, depuis les roches cristallines jusqu'aux êtres organisés auxquels il est indispensable. Ajoutons qu'étant donnée sa présence dans les astres à l'état stellaire et dans la plupart des comètes et des aérolithes, il doit être très répandu dans l'univers.

Nous sommes donc autorisés à induire que le fer doit former, suivant toute probabilité, la plus grande partie de la masse intérieure de la planète. Mais un autre fait d'observation vient confirmer cette induction. Tout le monde

connaît l'influence que la Terre exerce sur l'aiguille aimantée ou boussole. On sait également que cette influence ne peut avoir d'autre cause que l'existence de courants électriques puissants et continus, dirigés parallèlement à l'équateur, ou la présence, dans les couches profondes du globe, d'un aimant énergique dont le pôle nord attirerait le pôle austral de l'aiguille, et le pôle sud son pôle boréal. Or, comme aucune observation n'est venue démontrer l'existence de courants électriques perpendiculaires au méridien, les physiciens sont unanimes à regarder la Terre comme faisant fonction d'un aimant d'une grande puissance.

De tous les métaux que nous connaissons, le fer seul est susceptible de présenter les propriétés magnétiques d'une manière permanente, pourvu qu'il soit allié dans de faibles proportions avec le carbone. C'est précisément dans ces conditions que se trouve le fer des régions centrales, dont plusieurs blocs, amenés à la surface, ont pu être étudiés. On a objecté que porté au rouge, il se désaimante complètement. C'est vrai dans les expériences de laboratoire; mais en est-il de même sous les énormes pressions des masses cristallines, sédimenteuses et liquides de l'écorce terrestre? Il est au moins permis d'en douter.

Un savant étranger, s'appuyant sur cette objection, a émis l'opinion que c'était dans l'écorce terrestre que siégeait l'état magnétique, et que l'éther intersidéral, par son contact sans cesse renouvelé, pénétrait dans les atomes ou molécules qui la composent. Je ne cite cette opinion que pour montrer que, quoi qu'on en ait dit, les hommes de science sont souvent doués d'autant d'imagination que les littérateurs. Avant de produire une semblable hypothèse il aurait fallu, avant tout, montrer un fragment quelconque de roche doué de propriétés magnétiques. Elles contiennent toutes du fer, il est vrai, mais en quantités

relativement faibles, et dans des conditions chimiques absolument incompatibles avec l'aimantation.

Toutes les observations concourent donc à démontrer que le fer est la substance qui prédomine de beaucoup dans le noyau central, et que tous les autres métaux lourds ne s'y trouvent que dans de faibles proportions.

§ 3. PHÉNOMÈNES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA SURFACE TERRESTRE.

Chaleur; lumière; électricité; aurores polaires; magnétisme terrestre; influence du Soleil sur ces phénomènes. Marées. — Courants aériens et marins.

Chaleur. — Quoiqu'il soit évident qu'une certaine quantité d'éther ou de chaleur propre à la Terre, s'échappe continuellement des couches superficielles, exception faite des éruptions, elle n'y produit aucun phénomène appréciable; tous ceux de ce genre qui s'y manifestent, sont dus aux émanations solaires. Actuellement, elles y parviennent encore en abondance; mais, bien que les quelques milliers d'années de la période historique de l'humanité n'en donnent pas de preuves précises, il est certain que les zones glaciales tendent continuellement à s'étendre sous l'influence de la concentration, excessivement lente, mais continue, de l'astre central.

D'autre part, les climats astronomiques, si je puis m'exprimer ainsi, sont sans cesse modifiés par la mobilité des milieux liquide et atmosphérique. Là ce sont des courants marins qui, partis des régions équatoriales, vont porter la chaleur jusque vers le cercle polaire, tandis qu'ailleurs d'autres courants transportent du voisinage des pôles des eaux glacées qui exagèrent la température hibernale des côtes qu'elles vont baigner. Les courants atmosphériques produisent des effets analogues; mais leur

régularité rend ces effets plus fugaces et moins accentués. En général, les grandes plaines continentales, plus ou moins arides, présentent des écarts du thermomètre plus considérables, et subissent avec plus de docilité les différences de température dues à la situation du Soleil au-dessus de l'horizon, suivant les heures du jour et les époques de l'année. Le voisinage de la mer rend ces écarts beaucoup moins prononcés. Ces différences sont dues à la vapeur d'eau qui emmagasine l'éther et ne le rend qu'avec beaucoup de lenteur.

Un autre effet de la concentration progressive du reste de la nébuleuse primitive, c'est la diminution des précipitations aqueuses, par suite de la diminution de l'évaporation. Depuis l'époque glaciaire, les pluies diluviennes ne se sont plus reproduites. C'est seulement dans le voisinage de l'équateur qu'elles présentent encore de l'intensité à certaines époques de l'année. Dans les zones tempérées, là où l'étendue des mers est considérable, il pleut souvent, mais la quantité d'eau précipitée dans un temps donné est peu considérable.

Tout le monde sait que les grandes montagnes présentent en raccourci les différents climats astronomiques qui se rencontrent depuis l'équateur jusqu'aux pôles : à leur pied sont les régions chaudes ; la moitié inférieure de leurs versants représente la zone tempérée ; au sommet règne le climat polaire, plus ou moins accentué suivant l'élévation. Mais en cette circonstance, comme toujours, on accepte le fait sans chercher à en pénétrer la cause : elle est très simple. Plus on s'élève dans l'atmosphère, plus on se rapproche des espaces intersidéraux et plus l'éther, introduit par l'influence solaire dans les intervalles moléculaires des corps, s'échappe avec facilité, chassé, comme toujours, par l'attraction sans cesse en activité. La *latitude n'y fait rien : il* y a des neiges éternelles sous

l'équateur comme dans les Alpes, seulement elles n'apparaissent qu'à une plus grande hauteur, parce que l'éther interposé est plus abondant. L'activité de la matière est partout la même, au sommet des montagnes comme dans les entrailles de la terre.

Lumière. — Au point de vue de la lumière, la Terre est absolument passive; elle absorbe ou réfléchit les diverses vibrations transmises à l'éther par la photosphère. Celles qui sont réfléchies vont se perdre dans l'espace ; les autres s'éteignent dans les intervalles des atomes ou molécules, en modifiant quelquefois leurs vibrations sensibles (phosphorescence), ou leur affinité les uns pour les autres, comme nous le verrons dans le chapitre relatif aux êtres organisés.

Électricité. — Les sources d'électricité sont nombreuses à la surface de la Terre: évaporations, condensations, frottements, combinaisons chimiques, concourent à développer des phénomènes électriques, non seulement sur les continents, mais dans l'atmosphère; quant à ce que devient cette électricité, on n'en a pas la moindre idée. L'éther engagé dans les atomes ou soustrait à leur constitution normale, reprend-il immédiatement son équilibre, ou s'établit-il des circuits plus ou moins réguliers? On l'ignore absolument. On sait seulement que des nuages, formés par la condensation rapide et abondante de la vapeur d'eau atmosphérique, s'électrisent positivement et développent par le mécanisme que l'on connaît, une électricité de nom contraire soit sur la Terre, soit sur d'autres masses nuageuses, d'où échange d'étincelles gigantesques avec bruit plus ou moins intense. On sait également qu'un électroscope exposé à l'air sous un ciel serein, indique la présence de l'électricité positive dans l'atmosphère, tandis qu'un autre placé à l'abri sous un arbre ou près d'un édifice quelconque, nous montre ces points élevés

ectrisés négativement. C'est de l'électricité permanent atique.

A-t-on cherché à se rendre compte de l'état électrique es couches profondes de l'écorce terrestre dans lesquelles n a pu pénétrer ? C'est possible ; mais les ouvrages que 'ai pu consulter n'en font aucune mention. En tout cas, si ces recherches ont eu lieu, elles n'ont pas donné de résultats retentissants.

Enfin, on attribue une origine électrique aux *aurores polaires ;* il se passerait dans les hautes régions raréfiées le l'atmosphère quelque chose d'analogue à ce que l'on bserve dans l'œuf électrique, ou lorsque l'arc voltaïque raverse le vide. Il parait, en effet, certain qu'il s'agit là 'un phénomène électrique, toutes les aiguilles aimantées prouvant de grandes perturbations sous son influence.

Pour la production des expériences de laboratoire auxuelles nous venons de faire allusion, il est nécessaire que eux corps électrisés différemment soient en présence. Pour s aurores boréales, il y a bien le pôle nord, et pour les rores australes, le pôle sud ; mais quel est l'autre point rs lequel se dirigent les effluves électriques ? Je n'ai pas prétention de résoudre le problème ; cependant on est ujours autorisé à hasarder une induction, pour peu l'elle soit basée sur certaines observations exactes, quitte la rejeter plus tard si d'autres faits viennent l'infirmer. Pour que des phénomènes électriques se manifestent multanément sur deux points symétriques dans un corps ectrisé, on admet qu'il doit être traversé par un courant i unit ces deux points ; c'est ce qui arrive pour les piles i produisent l'arc voltaïque. Or, d'après de nombreuses servations, il paraît constant que les manifestations luneuses en question se produisent simultanément aux ux pôles ; il y aurait donc un courant terrestre qui trarserait la *planète allant* directement de l'un à l'autre.

D'autre part, les rayons lumineux des aurores polaires, après s'être élevés dans l'atmosphère à une hauteur généralement considérable, décrivent de vastes courbes qui se dirigent vers l'équateur et tendent, par conséquent, à se réunir à ce niveau avec ceux que le pôle opposé a lancé dans la même direction. Il y aurait donc alors formation d'un véritable circuit, comme dans les piles de laboratoire. La Terre représenterait les éléments de cette pile gigantesque dont l'atmosphère formerait les fils conducteurs. Mais, comme dans les hauteurs où parvient le courant, les molécules aériennes sont très raréfiées, il se formerait entre les deux pôles un arc voltaïque diffus d'une immense étendue, dont les rayons convergents seraient seuls visibles.

Quant à la source de cette électricité, elle n'est pas difficile à trouver. Au point de contact de la couche corticale et de la superficie du noyau central, là où s'accumule l'éther expulsé par ce dernier, il se passe une foule de phénomènes physiques et chimiques propres à développer des courants électriques que l'écorce granitique isole de la surface. En outre, l'aplatissement de 22 kilomètres au niveau des pôles a dû se produire, comme nous l'avons dit, aux dépens des matériaux légers de cette couche, lorsqu'avant leur oxydation ils formaient une nappe liquide enveloppante. L'épaisseur du granit dans les régions polaires doit être, par conséquent, moindre de 22 kilomètres que partout ailleurs; c'est là, en effet, que l'on a découvert ces masses de fer nickelé et carburé, provenant des régions profondes du globe. Il est donc naturel qu'à travers les cassures, peut-être remplies par ce métal éruptif, l'électricité trouve une issue facile pour entrer en communication avec l'atmosphère qui lui fournit un circuit aérien.

En résumé, la superficie du noyau métallique du globe

serait parcourue par une foule de courants électriques, suivant la direction des méridiens pour se faire jour dans le voisinage des pôles et former des courants de retour à travers l'atmosphère. Si l'électricité développée sur toute la surface nucléaire avait toujours la même intensité, l'écorce terrestre serait parcourue continuellement par une multitude de courants parallèles, et le phénomène des aurores polaires apparaîtrait toutes les nuits, enveloppant chacun des hémisphères nord et sud d'une vaste nappe lumineuse. Mais, pour des causes encore inconnues, les sources d'électricité doivent varier suivant les longitudes et suivant les époques de l'année. C'est ce qui rend compte des intermittences et des différences d'activité que présente le phénomène dont nous venons de chercher l'interprétation. Ainsi, il y aurait de l'électricité à l'état dynamique sous l'écorce terrestre et seulement de l'électricité statique à sa surface.

Quelle que soit la valeur de l'explication que je viens de tenter au sujet des aurores polaires, elle me paraît conforme aux données fournies à la science par l'observation et l'expérimentation, du moins quant à présent.

J'ai déjà dit un mot du *magnétisme terrestre* à propos de la nature des éléments qui entrent dans la composition du noyau central de notre planète; je vais compléter l'exposé des notions scientifiques que l'on possède à ce sujet.

L'aimant terrestre est sphéroïdal, car il n'est pas permis de supposer qu'il ait une forme cylindrique ou prismatique comme ceux des laboratoires. A ce propos, on doit regretter que les physiciens n'aient jamais eu l'idée de leur donner la forme d'une sphère pour y étudier la distribution des courants; cela tient, comme tant d'autres lacunes de la science, à ce que chacun, se cantonnant dans *sa spécialité, ne s'occupe* guère de ce qui se passe

ailleurs. Quoi qu'il en soit, la Terre présente deux pôles magnétiques qui ne coïncident pas avec ceux de son axe de rotation et présentent une certaine mobilité. Celui du nord se rencontre vers le 75e degré de latitude, à 105 degrés de longitude à l'ouest du méridien de Paris; celui du sud est fixé approximativement au 72e degré de latitude et au 135e degré de longitude est.

Au niveau de l'équateur magnétique, l'aiguille aimantée est parfaitement horizontale, mais elle incline chacun de ses pôles d'une manière d'autant plus prononcée qu'elle approche de l'un ou l'autre des points polaires que je viens d'indiquer; lorsqu'elle y est parvenue, elle devient perpendiculaire et en même temps elle reste indifférente, c'est-à-dire qu'elle cesse de demeurer parallèle au méridien. L'expérimentation a montré qu'elle se comporte absolument de même vis-à-vis d'un aimant artificiel.

L'intensité du magnétisme terrestre paraît subir peu de variation, car l'inclinaison pour un point donné ne présente que des différences minimes dans le cours d'un siècle. Il n'en est pas de même de la déclinaison, qui se trouve influencée non seulement par les phénomènes électriques de l'atmosphère, mais par le voisinage des masses de fer qui sont toujours plus ou moins dans un état magnétique par influence, alors qu'elles se trouvent à peu près dans la direction du méridien; mais ces dérangements n'ont d'importance réelle que pour les navigateurs, qui sont toujours forcés d'en tenir compte pour diriger leur marche.

Les lecteurs de cet ouvrage, surtout s'ils se trouvent parmi eux des physiciens de profession, m'accuseront peut-être de m'être lancé dans des conjectures hasardeuses en voulant expliquer les phénomènes magnétiques et électriques du globe; cependant, si j'ai trop présumé de *mes forces*, je ne me suis pas écarté des données scien-

ifiques les mieux établies. On ne pourrait en dire autant les idées qui règnent actuellement sur ces questions difficiles, mais d'une importance scientifique capitale; on va en juger.

Depuis une vingtaine d'années, tous les télescopes sont braqués sur le Soleil pour saisir les moindres troubles que présente son atmosphère; on compte jour par jour les taches ou perforations qui déchirent sa photosphère; on mesure leur étendue et leur profondeur; puis, supputant le temps écoulé entre l'intensité maximum et minimum de ces perturbations, on a cru y reconnaître une certaine périodicité. C'est parfaitement légitime, quoiqu'il soit difficile de comprendre quelle importance peuvent avoir ces retours plus ou moins réguliers, lorsqu'on sait qu'il faut des milliers de siècles pour rendre apparente l'évolution des astres. Mais on a été au delà.

Reportant leurs regards sur la Terre, les astronomes ont prétendu trouver une corrélation mystérieuse entre les cyclones solaires et les phénomènes électro-magnétiques qu'elle présente. Lorsqu'une aurore polaire de quelque importance est signalée, lorsque l'aiguille aimantée a présenté des dérangements dans son inclinaison et sa déclinaison, on s'informe immédiatement du nombre de taches constatées à la même date, et, s'il s'est sensiblement accru, vite on établit entre les deux ordres de manifestations une relation de cause à effet; c'est naturellement le Soleil que l'on incrimine, sans se demander par quel mécanisme son influence a pu s'exercer.

Est-ce qu'on a vu une barre d'acier, exposée au Soleil avec ou sans taches, acquérir des propriétés magnétiques? Est-ce que, dans les mêmes conditions, une pile a pu fonctionner sans le secours de réactions chimiques? Est-ce qu'une machine de Ramsden ou de Holtz s'est chargée d'électricité *positive ou négative*, sans qu'on ait eu besoin

de faire tourner les plateaux de verre? Non. Jusqu'ici, quelle que soit la théorie invoquée, il a toujours fallu une collection d'atomes à l'état solide, liquide ou gazeux pour que l'électricité puisse naître et se propager ; l éther, privé de toute particule matérielle, a toujours été pour elle une barrière infranchissable (1). Enfin, jusqu'ici, l'influence solaire n'est démontrée qu'au point de vue de la lumière, de la chaleur et de l'attraction. Eh bien, pourquoi ces conjectures basées sur de simples coïncidences? Si vous connaissiez l'intérieur de la planète aussi bien que sa surface ; si vous vous expliquiez parfaitement les phénomènes qui s'y passent, et que vous les voyiez troublés, sans qu'aucune modification matérielle puisse en rendre compte, je comprendrais que vous regardiez au dehors pour voir si le coupable n'est pas quelque personnage de la famille solaire, ou quelque intrus survenu accidentellement. Mais vous n'en êtes pas là, et, puisque toutes les manifestations électriques et magnétiques partielles ont toujours été, quant à présent, produites par l'action directe des éléments matériels, pour expliquer celles qui ont pour

(1) Les curieuses expériences de M. Hertz, de Berlin, sur l'induction à distance, par lesquelles il prétend prouver l'identité de la lumière et de l'électricité (voir *Arch. des sciences physiques et naturelles*, 1er fasc. 1889), sont impuissantes, malgré ses affirmations, pour démontrer que tout phénomène lumineux a une origine électrique. Mais, en serait-il ainsi, ce ne serait pas une raison pour admettre que la réciproque soit vraie, et qu'une diminution de l'intensité de la lumière solaire, produite par les déchirures de la photosphère, soit capable de modifier l'état électrique du globe terrestre au point de déterminer des aurores polaires, et cela par l'intermédiaire de l'éther de l'espace. A propos des recherches de M. Hertz, je ferai remarquer qu'il faut se méfier, d'une manière générale, des interprétations données des expériences entreprises dans le seul intérêt d'une théorie. Celle-ci doit être le *résultat* et non le but des observations et des expérimentations; elle *ne doit être* qu'une simple induction toujours révocable.

théâtre le globe dans son entier, il n'est pas nécessaire de consulter les astres (1).

Cette croyance à une influence mystérieuse de l'astre central est une survivance du culte qu'on lui rendait autrefois dans nos contrées, une réminiscence de l'astrologie du moyen âge. Jusqu'à preuve du contraire, il faut regarder le Soleil comme aussi étranger aux aurores polaires et au magnétisme terrestre que les comètes à la qualité du vin, la lune rousse et les saints de glace aux gelées d'avril et de mai, et que saint Médard aux pluies de juin. Dans les sciences, il faut toujours se méfier des coïncidences.

Les marées. — Tout le monde sait que les marées sont dues à l'attraction combinée du Soleil et de la Lune. L'intumescence qui se produit au moment où les océans, pendant la rotation de la Terre, ont ces deux astres à leur zénith, n'est pas très considérable et ne paraît pas atteindre 1 mètre, même dans les syzygies où les deux influences s'additionnent. Elle se traduit sur les côtes par un retrait des eaux d'autant plus appréciable qu'elles sont plus plates ; puis, l'attraction cessant de se produire, la masse soulevée retombe de tout son poids, et le flot qui ramène la mer au rivage, dépasse le niveau moyen d'une hauteur proportionnelle à son retrait. L'action sidérale est d'autant plus intense qu'elle se produit sur une masse d'eau plus étendue en surface et en profondeur. Mais ses manifestations sur le littoral varient d'une manière infinie, suivant des circonstances multiples dont il est quelquefois

(1) Un savant anglais, M. F. Blanfort, n'a-t-il pas cherché récemment s'il existait des relations entre les taches solaires et la famine qui désole si souvent certaines provinces de l'empire indien ? Le résultat a été négatif ; heureusement, car, s'il y avait eu coïncidence entre les deux phénomènes, les taches eussent été certainement incriminées. (*Indian meteorological* memoirs, 1887.)

difficile de se rendre compte. Ces variations dans la durée, la rapidité et même la périodicité du flux et du reflux, rendent en général la navigation côtière très difficile.

Là paraît se borner l'influence sensible que l'astre central et notre satellite exercent sur les phénomènes terrestres par leur force attractive. La mobilité de l'air et la différence de densité de ses différentes couches sont sans doute les causes qui empêchent cette influence de s'exercer d'une manière appréciable sur l'atmosphère. Mais l'imagination de certains savants, toujours guidés par les coïncidences, les a entraînés à regarder les tremblements de terre et les simples oscillations de la surface terrestre comme les manifestations de marées que subirait la masse centrale en fusion.

Tout ce que nous avons dit au sujet de la constitution intérieure du globe nous dispense d'entreprendre la réfutation d'une assertion aussi fantaisiste. Nous ajouterons seulement qu'étant donné le peu d'élévation du soulèvement océanique, 60 ou 70 centimètres en moyenne, la force qui le produit ne peut avoir aucune action appréciable sur un liquide six ou sept fois plus dense, et comprimé par une couche solide d'une épaisseur de peut-être 30 ou 40 kilomètres.

Courants aériens et marins. — L'agitation qui règne d'une manière continue dans les milieux liquides et aériens est due à l'inégalité avec laquelle la chaleur solaire se trouve distribuée sur les différentes zones du globe, et à la difficulté que l'éther de la surface éprouve pour s'échapper vers l'espace. Il en résulte des courants ascendants et descendants, d'autres allant vers l'équateur ou vers les pôles, le tout modifié à chaque instant par les circonstances locales les plus variées, et, lorsqu'ils se rencontrent, ils donnent naissance à des tourbillons plongeants qui, surtout dans le milieu aérien, ont souvent pour l'homme les

conséquences les plus terribles : tels sont les trombes, les ouragans et les cyclones.

Grâce à une régularité qui n'exclut pas du reste la complexité, les courants marins sont assez bien connus ; non seulement ceux qui, à l'entrée des mers intérieures, viennent régulariser leur niveau et leur salure dérangés par le défaut d'équilibre entre l'évaporation et l'apport des rivières et des fleuves, mais ceux qui, dans les grands océans, soit à la superficie, soit dans les profondeurs, parcourent des milliers de lieues pour porter aux pôles les eaux tièdes de l'équateur et les ramener à leur point de départ chargées de montagnes de glace, qui disparaissent bientôt sous l'influence des radiations solaires.

Quoique produits par les mêmes causes, les courants aériens sont bien plus irréguliers, surtout sur les continents, où ils sont sans cesse modifiés et entravés par les divers accidents du sol. Cependant, il en est qui, à certaines époques de l'année, suivent toujours la même direction : tels sont les moussons, le mistral (1), les vents étésiens (2) connus des anciens Grecs, et surtout les alizés dont voici l'explication spéciale.

A toutes les causes de perturbation qui modifient le déplacement de l'air froid des régions polaires vers l'équateur et réciproquement, vient se joindre l'inégalité de la vitesse de rotation sur les divers points de la sphère terrestre. Cette vitesse, qui a son maximum à l'équateur, diminue en allant vers les pôles, où elle devient nulle. D'autre part, l'atmosphère, subissant faiblement l'attraction vers le point central, jouit d'une certaine indépendance relativement à la croûte solide, si bien que, lorsqu'une masse d'air change de latitude avec rapidité, elle n'acquiert pas immédiatement la vitesse de rotation des terres sous-ja-

(1) *Maestral*, maître, vent maître.

(2) Ἐτήσιος, *annuel.*

centes et se trouve en retard ou en avance par rapport à elles, suivant qu'elle vient des régions polaires ou de la zone torride. Dans le premier cas, elle se trouve donc déviée vers l'ouest et dans le second vers l'est, puisque la Terre tourne de l'orient au couchant, c'est-à-dire dans le sens opposé de la marche apparente du Soleil. Telle est l'origine des vents alizés, et voilà pourquoi ils sont constants. L'air qu'ils amènent des contrées froides vers l'équateur, en rasant les flots, vient du nord-est dans l'hémisphère nord et du sud-est dans l'hémisphère opposé.

Les contre-alizés suivent une route absolument inverse. Les couches aériennes, dilatées par la chaleur équatoriale, s'élèvent d'abord pour gagner les régions de l'atmosphère présentant la même densité, et se dirigent ensuite vers les pôles ; mais elles ne perdent pas immédiatement la vitesse de rotation qu'elles ont acquise à la surface du sol, si bien que dans leur marche progressive elles se trouvent en avance sur les parties correspondantes de la planète. Au lieu de suivre une direction perpendiculaire à la ligne équatoriale, elles obliquent vers l'est, dans un sens absolument opposé à celui des alizés auxquels elles se superposent.

Sur les continents, ce phénomène est moins facile à observer. Cependant il est manifeste que le vent du nord-est, qui, après avoir parcouru le centre de l'Asie sans avoir rencontré une surface liquide de quelque importance, souffle à peu près constamment sur l'Égypte, la Tripolitaine et le Sahara, est un alizé presque entièrement dépourvu de vapeur d'eau, qui contribue à transformer ces contrées en désert.

Bien que la consistance de la mer la rende plus intimement solidaire du mouvement de rotation du globe, on attribue dans l'Atlantique septentrionale la direction nord-est du Gulf-Stream et la marche vers l'ouest du courant

polaire à la même cause qui produit les vents alizés et contre-alizés. Mais, comme ces deux courants ne sont pas superposés et progressent au contraire sur un même plan, cette opinion me paraît fort discutable. Étant donné leur point de départ, c'est bien plutôt leur rencontre qui décide de leur trajet ultérieur.

CONCLUSION.

Cette revue sommaire, que nous venons de passer, des phénomènes dont la Terre a été le théâtre depuis sa formation aux dépens de la nébuleuse primitive jusqu'à nos jours, nous montre que tous sont le résultat des propriétés de la matière : mouvement vibratoire et de translation des atomes, attraction et affinité les uns pour les autres, propriétés qui ont produit également les phénomènes sidéraux, que nous avons énumérés dans le chapitre précédent. Nous avons vu, en plus, se manifester l'électricité et le magnétisme, c'est-à-dire le résultat de la dilatabilité et de la contractilité successives des éléments moléculaires sous l'influence de l'éther qui les pénètre. Ce n'est pas à dire pour cela que ces manifestations n'aient pas lieu sur les autres astres ; mais, comme elles ont un caractère purement local, elles échappent à notre observation, à moins, toutefois, que les lueurs observées sur Vénus, lorsqu'elle nous montre son hémisphère non éclairé par le soleil, ne soient des aurores polaires d'une grande intensité. Le chapitre suivant, consacré aux êtres organisés, complètera l'exposé des connaissances acquises sur la planète que nous habitons.

CHAPITRE IV.

LES ÊTRES ORGANISÉS.

PREMIÈRE SECTION. — LEUR ORIGINE.

§ 1. EXPOSÉ DES DOCTRINES.

Créationisme ; transformisme ; évolutionisme.

Voici, en peu de mots, les diverses doctrines qui ont été formulées sur l'origine des êtres organisés.

La première, philosophico-religieuse, est déduite d'un principe admis comme axiome, c'est-à-dire sans preuve, à savoir : l'existence d'un Être supérieur tout puissant. Ce Dieu, après avoir créé l'univers de rien (*ex nihilo*), aurait formé toutes les espèces animales et végétales de matières terrestres, et leur aurait communiqué un souffle de vie; ce souffle, chez l'homme, aurait donné naissance à une âme d'une nature analogue à l'essence divine, quoique moins parfaite, et destinée à vivre éternellement. Puis, pour assurer la fixité et la perpétuité des espèces, le Créateur leur aurait accordé la propriété de se reproduire absolument telles qu'il les avait formées. Nous avons vu que la scolastique, cette fausse science inventée au moyen âge, avait, pour compléter ces données, affirmé l'emboîtement des germes en nombre indéfini. Cette doctrine porte le nom de *créationisme*.

L'hypothèse d'une apparition brusque et définitive des êtres organisés ayant été renversée par les découvertes paléontologiques de Cuvier, celui-ci, partisan des révélations bibliques par éducation et par intérêt, substitua au dogme

d'une création unique celui de créations multiples, précédées de cataclysmes que Dieu lui-même aurait suscités. Il expliquait ainsi comment et pourquoi la faune et la flore varient à chaque époque géologique. Mais, depuis, les géologues, l'anglais Lyell en tête, ont démontré que l'hypothèse des cataclysmes était fausse, et que toutes les modifications survenues dans l'écorce terrestre s'étaient produites avec une extrême lenteur.

Une autre opinion, basée uniquement sur l'observation et l'expérimentation, a été formulée pour la première fois en 1809, dans la *Philosophie zoologique* de Lamarck, professeur au Muséum d'histoire naturelle de Paris. Elle a été confirmée et complétée depuis par les observations et les expérimentations d'un grand nombre de savants, à la tête desquels se place Darwin, une des gloires de l'Angleterre. La voici, résumée d'une manière aussi succincte que possible.

Durant la première partie des temps géologiques primaires, sous l'influence de la chaleur et de la lumière solaire, plusieurs corps simples se réunirent pour former, dans l'eau de mer, certaines combinaisons chimiques complexes que leur affinité groupa en une ou plusieurs petites masses distinctes, suivant des proportions et dans un ordre particulier. Les mêmes influences, émanées de l'astre central, développèrent, dans chacune de ces petites masses ou cellules, une succession de réactions physico-chimiques auxquelles on a donné le nom de *vie*. Sous l'impulsion de l'action vitale, ces cellules primitives se multiplièrent à l'infini. Durant une suite de siècles que l'on ne peut nombrer que par millions, sous l'influence de modifications lentes, mais continues, du milieu ambiant, ces petits êtres, soit isolés, soit réunis par groupes, se transformèrent successivement pour donner naissance à une multitude d'autres êtres plus ou moins compliqués. Un

certain nombre des espèces ainsi formées, se trouvant maintenues dans des circonstances à peu près semblables à celles qui avaient présidé à leur formation, conservèrent leur état primitif; d'autres, soumises à des changements beaucoup trop rapides, succombèrent sans laisser de postérité; enfin, une troisième série, favorisée par la lenteur des modifications extérieures, continua à évoluer jusqu'à nos jours.

Telle est, en peu de mots, la théorie de l'origine des êtres organisés, induite de l'observation et de l'expérimentation, à laquelle on a donné le nom de *transformisme*.

On a pu reconstituer en partie la série des transformations subies par la cellule primitive à l'aide des espèces animales et végétales existantes, qui représentent un grand nombre de stades de l'évolution générale. Les lacunes qui existent entre elles, sont en partie comblées par les recherches paléontologiques, qui amènent chaque jour la découverte de formes nouvelles. Enfin, l'étude du développement embryogénique des animaux et des végétaux est venue compléter la théorie, en nous montrant, en raccourci, la suite des formes que chacun d'eux a revêtues dans la série des temps géologiques.

L'accueil fait en France au transformisme a été déplorable, et montre combien nous sommes inférieurs aux nations voisines, au point de vue de l'indépendance scientifique. D'abord, l'ouvrage de Lamarck a été ridiculisé et oublié ; puis, lorsqu'en 1829, Étienne Geoffroy Saint-Hilaire reprit la même idée sous une autre forme et en fit l'objet d'une communication à ses collègues de l'Académie des sciences, il fut écrasé sous la pression despotique de G. Cuvier. Enfin, apparut en 1859 l'*Origine des espèces*, de Darwin. On aurait alors voulu renouveler la conspiration du silence qui avait si bien réussi contre Lamarck;

mais l'ouvrage, traduit en français par M[me] Clémence Royer, fut bien vite entre les mains de tous les esprits indépendants. En présence d'un danger si terrible, le Corps enseignant fulmina l'anathème contre cette doctrine impie, qui menaçait de renverser les fondements de toute société civilisée ; et, encore aujourd'hui que de nouvelles preuves viennent tous les jours la confirmer, l'Université exclut sans pitié tout individu suspect de quelqu'attachement pour elle (1).

Je dois avouer cependant que certains maîtres, et des plus distingués, trop honnêtes pour nier l'évidence, acceptent l'idée de l'*évolution* des espèces, mais en reportent, par esprit de foi, toute la gloire à la Divinité qui, dans sa sagesse infinie, a conçu et exécuté le plan de la nature avec une perfection également infinie. Heureusement pour la science, malgré cette restriction, dont je suis loin d'ailleurs de suspecter la sincérité, ces évolutionistes consacrent tout leur talent et tous leurs efforts à découvrir et à divulguer ce qu'ils appellent le plan du Créateur. Heureusement aussi, en dehors des savants officiels, il s'est rencontré un grand nombre d'esprits d'élite qui ont embrassé avec ardeur la nouvelle théorie de l'origine des êtres organisés, et qui, par leurs patientes recherches et la lucidité de leurs inductions, achèvent l'œuvre des Lamarck et des Darwin qui doit dissiper les dernières ténèbres, à l'aide desquelles l'obscurantisme philosophique et religieux cherche à voiler la vérité.

(1) Dans ces derniers mois, le Conseil municipal de la ville de Paris ayant voté la somme nécessaire pour la fondation, à la Sorbonne, d'une chaire dans laquelle le transformisme serait enseigné, l'Administration universitaire nomma le candidat désigné par les donateurs, *chargé* du cours de l'*Évolution des êtres organisés ;* c'est un progrès. Sera-t-il définitif ?

§ 2. QUEL A ÉTÉ LE PREMIER ÊTRE VIVANT ?

Opinion régnante ; la monère. — Théorie de l'auteur : La chlorophile ; son importance. Première cellule verte ; sa croissance et sa reproduction. Formation de la cellule incolore. Cause des transformations des êtres organisés.

Aujourd'hui qu'il est bien établi que les espèces animales et végétales procèdent toutes d'un individu monocellulaire, soit qu'on suive leur généalogie dans la série des âges (*phylogénie*), soit qu'on observe leur développement individuel (*ontogénie*), il est intéressant de rechercher comment les propriétés physico-chimiques de la matière ont pu produire le premier être organisé à l'aide de substances purement minérales, dont les combinaisons, par leur stabilité, contrastent avec la mobilité des composés organiques.

Les premières découvertes relatives à la transformation des espèces ont été faites sous l'influence de préoccupations purement zoologiques. En effet, les affirmations philosophiques et religieuses, qu'il s'agissait de vérifier à l'aide d'observations exactes et scrupuleusement scientifiques, portaient spécialement sur les animaux, qui touchent de si près à l'homme. Relativement aux végétaux qui, en apparence, sont si peu vivants, la question avait moins d'importance. Lors donc qu'en remontant la généalogie des espèces animales, on fut arrivé à l'individu monocellulaire, tel que la monère et l'amibe, on s'arrêta, et il fut regardé comme le premier être organisé, comme la souche de tous les autres.

Cependant une objection des plus graves aurait dû se présenter immédiatement à l'esprit des observateurs. Cette monère, cet amibe et, en général, tous les êtres monocellulaires ou polycellulaires incolores ne vivent que de

débris organiques et meurent dans un milieu purement minéral. Aussitôt formés, ils seraient donc infailliblement morts de faim, après s'être au préalable dévorés entre eux. Cette vérité incontestable n'ayant pas frappé les premiers transformistes, on a répété, depuis, sur la foi de leur affirmation, que la monère était l'ancêtre commun de tous les êtres vivants.

Cette erreur étant bien constatée, cherchons quels sont ceux de ces êtres qui se nourrissent de matières minérales, et fabriquent à leur profit la matière organique(1). Ils sont faciles à trouver. Tout le monde sait, aujourd'hui, que les végétaux verts n'ont pas d'autre source d'alimentation, et que les engrais chimiques sont d'un emploi journalier en agriculture.

Fournissez à une plante verte des nitrates de soude et de potasse, des phosphates et des sulfates des mêmes bases, une petite quantité d'un sel de fer, de la silice ou un silicate alcalin et quelques autres corps minéraux de moindre importance, le tout dissous dans une quantité suffisante d'eau distillée, et vous la verrez végéter avec une vigueur étonnante, pourvu que le milieu liquide ou aérien contienne une certaine proportion d'acide carbonique.

On sait, en outre, que les agents de cette transformation de la matière minérale en matière organisée sont la lumière solaire et la chlorophylle, substance verte qui donne à la plante sa couleur. On peut donc induire que le premier être vivant a été une cellule verte, et qu'elle a été formée par la chlorophylle préexistante, aidée des vibrations lumineuses transmises par l'éther.

On a objecté tout d'abord que cette induction était une

(1) La théorie que j'expose ici m'est personnelle; elle a été, de ma part, l'objet d'une communication au congrès de Toulouse de *l'Association française pour l'avancement* des sciences, section de *botanique. (Voir le volume* des procès-verbaux des séances, p. 254.)

pétition de principe, puisque la chlorophylle fait partie intégrante de la cellule. C'est une erreur ; elle y figure comme un corps étranger, au même titre que les sels en dissolution avant leur transformation ; elle ne fait pas partie de l'organisme. C'est un composé chimique bien défini, qui a ses réactions caractéristiques et cristallise comme un minéral ; nous la qualifions de substance organique, parce que nous la rencontrons seulement dans les végétaux.

On a dit encore que la présence de la matière organisée était indispensable à l'action chlorophyllienne. Rien ne le prouve. On peut seulement dire qu'*actuellement* les choses se passent toujours ainsi. Qu'on me permette une comparaison. Si l'on introduit des cristaux de sel marin dans une solution de cette substance, pendant l'évaporation du dissolvant, le sel dissous se déposera sur les cristaux et en augmentera le volume. Dira-t-on que sans leur présence la cristallisation n'aurait pas eu lieu ? Non certes, car tout le monde sait qu'elle se serait produite quand même.

Comme la lumière solaire n'a jamais fait défaut à aucune époque de l'évolution de la planète, le problème de la formation de la première cellule se trouve donc réduit à spécifier comment et quand la chlorophylle a pris naissance.

Les chimistes qui en ont, par l'analyse, précisé la composition, n'ont jamais cherché à en faire la synthèse, mais on sait que les vibrations lumineuses sont indispensables à sa production. Les plantes qui germent dans l'obscurité, restent pâles, et, une fois qu'elles ont consommé les matériaux en réserve dans la graine, elles périssent faute de chlorophylle. De plus, sa formation est indépendante de toute action vitale. En effet, si l'on traite par l'alcool une *plante étiolée*, suffisamment divisée pour permettre au li-

quide de dissoudre les principes qui doivent former la chlorophylle, cette combinaison a lieu aussitôt que la dissolution est exposée à la lumière, pourvu que la température ne soit pas inférieure à 10 degrés ni supérieure à 40.

On ignore encore quels sont les principes dont les vibrations lumineuses favorisent la combinaison pour former cet agent indispensable de la végétation. Quoi qu'il en soit, sa formule, d'après M. A. Gauthier (1), est représentée en poids atomique par $C^{19}H^{22}Az^{2}O^{3}$, c'est-à-dire, en apparence du moins, par un carbure d'hydrogène uni à l'acide azoteux. En résumé, sa production est surtout favorisée par une lumière d'un pouvoir éclairant de 50 bougies et par une température de 25 à 30 degrés, conditions qui ont dû se rencontrer facilement dans les temps primaires.

Une fois formée, elle a rencontré, dans les eaux de cette époque, tous les éléments nécessaires à la combinaison des substances organisables. Nous savons que les sels énumérés plus haut s'y trouvaient dissous ; les nitrates alcalins en particulier n'y manquaient pas, car l'atmosphère nuageuse d'alors devait être le théâtre d'orages très violents, dont les décharges formaient de l'acide azotique avec l'azote et l'oxygène de l'air, comme cela a lieu encore aujourd'hui dans de moindres proportions ; quant à l'acide carbonique, son existence est absolument certaine.

On s'explique donc que les réactions chimiques, si nombreuses au début des temps géologiques, aient pu favoriser la formation d'abord de la chlorophylle, puis des premières cellules vertes, tandis que les causes qui auraient amené la production spontanée des premières monères incolores, sont absolument inconnues. C'est à l'expérimentation maintenant de vérifier cette induction. Il va sans dire que la première apparition de la vie a dû se faire dans des eaux

(1) *Hommage à M. Chevreul*, p. 48. Félix Alcan, 1886.

calmes et peu profondes, telles qu'on en rencontre sur le rivage des océans, et peut-être même dans des flaques isolées.

La date de cette apparition est difficile à préciser. Déjà le cambrien d'Europe, dans ses couches supérieures, présente des empreintes d'algues compliquées, des coquilles de mollusques et même quelques crustacés du genre trilobite. C'est donc au delà qu'il faut remonter ; mais alors on ne trouve plus rien. C'est tout naturel, car des cellules vertes microscopiques, isolées ou groupées, n'ont pas dû laisser de trace. Je ne parle pas du fameux *Eozoon canadense*, espèce de foraminifère à enveloppe calcaire, que M. Logan aurait découvert dans le laurentien ; on est à peu près d'accord pour en nier l'existence.

Les premières substances organisables formées sous l'influence de la lumière et de la chlorophylle étaient, comme elles sont encore aujourd'hui, d'une composition moléculaire très complexe. Sans parler des hydrates de carbone, qui sont des matériaux de réserve pour la nutrition et les sécrétions, on les désigne sous le nom générique d'albuminoïdes ; elles contiennent, dans des proportions variables, de l'oxygène, de l'hydrogène, du carbone et de l'azote, plus du soufre et du phosphore. Au point de vue physiologique, on les divise en substance nerveuse et en substance contractile, plus une subtance indéterminée, qui accumule les matières en dissolution qui serviront à la nutrition et aux sécrétions.

C'est l'affinité de la substance nerveuse pour les deux autres, qui les a réunies sous forme d'un petit globule d'apparence gélatineuse ; nous verrons en effet plus tard, en parlant des animaux, que, lorsqu'elles se trouvent isolées, comme il arrive dans les organismes supérieurs, la *première* se maintient en contact avec ses congénères par des prolongements auxquels on a donné le nom de nerfs.

Ce qui a prédominé dans l'action chimique de la chlorophylle, c'est la séparation de l'oxygène et du carbone le l'acide carbonique; mais l'affinité naturelle qui existe ntre ces deux éléments tendait toujours à les réunir. Sous ette influence, l'oxygène, un moment chassé, a pénétré lans le jeune organisme et, en se combinant avec ceraines substances pour reconstituer l'acide carbonique, légagea de l'éther, qui pénétra dans les molécules de la natière nerveuse et y développa la *nervosité* (1), c'est-à-dire a vie.

En effet, quand on examine au microscope cette petite masse gélatineuse globulaire, à laquelle on a donné le nom de protoplasme, pourvu que l'oxygène soit à sa portée, on la voit se contracter, se déplacer sous l'influence du contact d'un corps étranger, de la chaleur et de la lumière ; si cette dernière est d'une intensité moyenne, elle se porte vers la source qui l'émet ; si, au contraire, elle est vive, elle cherche à y échapper ; enfin, on remarque, dans son intérieur, une circulation qui met en contact le liquide absorbé avec tous les points de la substance. En un mot, c'est la vie avec toutes ses complications. Mais si vous supprimez l'accès de l'oxygène, tous ces mouvements s'arrêtent, et, pour peu que l'absence du gaz se prolonge, la mort survient.

L'action comburante de l'oxygène, indispensable pour la production de la nervosité, autrement dit de la vie, use le petit organisme, et les matériaux qu'il décompose ont besoin d'être remplacés. Comment aurait pu le faire le premier être organisé, si la chlorophylle n'eût été là pour continuer, à l'aide des vibrations lumineuses, la formation des substances organisables ? Il serait mort au milieu des substances minérales dans lesquelles il baignait. La pré-

(1) *Voir livre Ier, chap. II, § 5, p. 109.*

sence de la chlorophylle était donc indispensable, aussi bien pour lui assurer une durée quelconque, que pour lui donner naissance.

Continuons à observer le petit corpuscule vivant. Les matériaux fournis par l'action chlorophyllienne non seulement réparent les pertes causées par l'oxygène, mais augmentent la quantité des trois substances qui le composent. Son volume s'accroissant, alors survient un phénomène bien curieux. Les molécules de diverses natures qui constituent le protoplasme, sont soumises non seulement à l'affinité qui les réunit par groupes, mais à l'attraction qui, agissant sur l'ensemble, leur fait prendre, dans le milieu liquide, une forme sphérique. Or, cette attraction ou cohésion n'est pas très intense, elle a des limites. A un moment donné, un petit corps central, plus dense, que l'on nomme noyau, et autour duquel la masse gravite, se divise en deux parties égales qui, entraînant chacune la moitié du protoplasme y compris la chlorophylle incluse, forment deux êtres nouveaux parfaitement distincts. Ceux-ci vivent et croissent pour se partager bientôt à leur tour, et ainsi de suite.

C'est ainsi que se multiplièrent à l'infini les premiers globules verts. Mais parmi leurs descendants, un certain nombre d'entre eux durent perdre leur chlorophylle sous l'influence de causes diverses, dont les principales sont, de nos jours, l'intensité trop grande de la lumière et son absence. Sans doute la plupart succombèrent d'abord et semèrent leurs débris dans le milieu ambiant; toutefois, quelques-uns plus vigoureux, excités par le contact de ces parcelles de matière organique, purent, grâce à leur substance contractile mise en action par la nervosité, les introduire dans leur protoplasme et, l'affinité aidant, se les assimiler. Telle a dû être l'origine des premiers globules incolores qui, à leur tour, se multiplièrent par le

mécanisme que nous avons indiqué plus haut, et devinrent la souche de toutes les espèces animales.

Cette décoloration des végétaux verts a dû se produire à toutes les époques de leur évolution, car, jusque parmi les plantes à fleurs, on trouve des espèces dépourvues de chlorophylle, qui se nourrissent de matières organiques fabriquées par d'autres; telles sont les *Cuscutes* qui vivent à l'état de parasites sur les orties, le houblon et la luzerne, et l'*Orchis homme pendu*, qui végète dans les débris organiques, à l'ombre des grands bois, et qui, sauf la couleur, présente tous les caractères de la famille.

On le voit, dès leur origine, le règne animal et le règne végétal furent en antagonisme, le premier vivant aux dépens du second. Encore aujourd'hui, si les plantes vertes disparaissaient, les animaux succomberaient bientôt après s'être entre-dévorés.

Dès le début, la distinction entre les deux règnes s'accentua, lorsque le globule vert, sécrétant autour de lui une enveloppe de cellulose (hydrate de carbone $C^6H^{10}O^5$) mérita réellement le nom de cellule qu'on a donné, par extension, à tous les éléments des êtres organisés. Cette dénomination, consacrée par l'usage, est absolument impropre, car la présence d'une membrane protectrice autour de ces éléments est relativement rare chez les animaux, et est loin d'être constante dans les végétaux.

Pour bien comprendre comment la cellule incolore, ou monère (1), et la cellule verte, qui ne diffèrent en réalité que par l'absence et la présence de la chlorophylle, ont pu, par une suite continue de transformations, produire deux êtres aussi dissemblables que l'homme et le chêne,

(1) Cet animal monocellulaire, le plus simple de tous, a été observé pour la première fois par Hæckel, en 1864, à Villefranche, près Nice. Depuis, son étude a été complétée par un grand nombre d'observateurs.

il faut tenir compte, non seulement de l'influence du milieu ambiant, mais de la variabilité, pour ainsi dire infinie, de la composition de la matière organique, dont malgré cela les propriétés fondamentales ne sont jamais sensiblement modifiées.

Ainsi la chlorophylle, qui partout décompose l'acide carbonique, varie, dans chaque famille et pour ainsi dire dans chaque espèce, par les proportions d'hydrogène et de carbone qui entrent dans sa composition; les quantités d'azote et d'oxygène restent seules immuables (1). Même, sans que la composition change, la disposition moléculaire peut se modifier. C'est de la sorte que l'amidon de la pomme de terre n'est pas le même que celui du blé. Chez les animaux, la substance contractile ou chair musculaire se modifie à l'infini, tout en restant susceptible de se raccourcir sous l'influence de la nervosité. Voyez quelle différence entre les muscles des poissons et ceux du bœuf! Bien plus, entre les espèces les plus voisines, la différence est facile à saisir. La cuisinière la plus illettrée distingue la viande de bœuf de celle de mouton. On peut même affirmer que cette instabilité de la matière organique, qui la rend si sensible aux moindres modifications du régime alimentaire et de toutes les autres conditions du milieu ambiant, est la source principale et même unique de l'évolution générale des êtres vivants. Quand la chimie pourra apprécier l'origine de toutes ces nuances, on aura la clef de la théorie du transformisme.

(1) Chlorophylle des épinards, $C^{19}H^{22}Az^{2}O^{3}$; chlorophylle de la mauve, $C^{18}H^{40}Az^{2}O^{3}$; chlorophylle des graminées, $C^{30}H^{46}Az^{2}O^{3}$. (*Mécanisme de la variation des êtres organisés*, par A. Gauthier, in *Hommage à M. Chevreul*, 1886. Chez Alcan.)

CONCLUSION.

En attendant que nous exposions, dans les deux sections qui vont suivre, l'évolution parallèle des animaux et des végétaux, nous pouvons déjà induire de ce qui précède que les propriétés physiques et chimiques de la matière ont seules présidé à leur origine commune et au point de départ de leur séparation. L'affinité, modifiée par la lumière, a donné naissance à la chlorophylle; celle-ci, en absorbant la plupart des vibrations lumineuses, sauf les vertes, qu'elle réfléchit, a mis en jeu l'affinité de certains atomes ou molécules, qui ont formé, en s'unissant, les substances organisables, lesquelles, agglomérées toujours par affinité, ont produit les premiers êtres organisés, dont la forme et le volume ont été réglés par l'attraction. L'action chimique de l'oxygène sur les éléments de la matière nerveuse, a développé le phénomène physique de la nervosité, c'est-à-dire, la vie. Puis, l'activité chlorophyllienne continuant à accumuler la matière organisable, l'attraction devint trop faible pour maintenir l'unité; deux centres de gravitation se développèrent et donnèrent naissance à deux êtres nouveaux. Ce mode de multiplication ou de reproduction s'est maintenu, sous des formes diverses, dans les séries animales et végétales, comme nous le démontrerons bientôt. Enfin, diverses influences physiques ayant décomposé la chlorophylle de certaines cellules vertes, celles-ci se transformèrent en cellules animales, dont la nutrition et la multiplication furent assurées par leur affinité pour la matière vivante ou ayant vécu.

Cette origine commune des deux règnes organiques rend compte des difficultés que les classificateurs rencontrent, lorsqu'ils veulent en énumérer les caractères distinctifs. Ce qui va suivre fera voir que cette distinction est *néanmoins possible*, et qu'elle repose sur le mode de

différentiation des éléments cellulaires, dont les animaux et les végétaux sont composés.

On trouvera sans doute que je suis bien..... hardi, en affirmant ainsi que la vie a été précédée de l'apparition de la chlorophylle, et que, par conséquent, les animaux sont des végétaux transformés. C'est possible. Mais l'hypothèse contraire est tellement incohérente, que mon esprit ne peut s'y arrêter. On m'a objecté que, puisque j'admettais la production spontanée de la chlorophylle, je pouvais bien admettre la naissance également spontanée des autres principes immédiats des êtres organisés. Quant à l'alimentation de la première monère, elle aurait eu lieu par continuation de la synthèse chimique de ces principes.

De telles conjectures n'ont aucune base. Rien, dans les phénomènes actuels, ne se rapproche de ces combinaisons purement imaginaires. Pour faire de la matière organique, il faut du carbone ; or, la seule combinaison minérale soluble de ce corps est l'acide carbonique, libre ou combiné ; c'était aussi vrai dans les temps primaires qu'aujourd'hui. Le carbone de la matière organique a donc dû toujours être tiré de cet acide. Mais, comme, pour le dissocier, autrement que par les radiations solaires en présence de la chlorophylle, il faut des températures excessivement élevées, incompatibles avec toute possibilité de synthèse organique, nous sommes autorisé à induire que l'action chlorophyllienne a dû présider à la première formation des cellules vivantes.

Le problème se réduit donc, comme nous l'avons dit et répété, à expliquer la synthèse de la chlorophylle, sur laquelle nous avons déjà quelques données, tandis que, suivant la conjecture que nous combattons, c'est celle de chaque composé organique, azoté ou non, qu'il faut rechercher sans tenir aucun compte de ce qui se passe sous *nos yeux*.

Enfin, il est bien extraordinaire qu'à ces époques recu-ées, où les conditions de milieu permettaient déjà aux plantes et aux animaux de vivre comme aujourd'hui, il ait existé des conditions spécialement favorables à la formation de la matière organisable et que ces conditions aient entièrement disparu, sauf pour la chlorophylle, que les radiations solaires produisent tous les jours sous nos yeux.

Mais ce n'est pas tout, si, comme le prétendent nos adversaires, les animaux ont précédé les végétaux, et les ont primitivement nourris, comment expliquer que les choses se passent maintenant dans un ordre absolument inverse? Il faudrait donc admettre que les végétaux incolores, champignons, cuscutes, etc., aient précédé les végétaux verts, ce qui est faux, puisqu'ils n'ont apparu qu'après l'émersion des continents, comme nous le verrons plus loin.

Notre hypothèse est par conséquent la seule vraie dans l'état actuel de la science, et nous sommes autorisé à la maintenir jusqu'à ce que de nouvelles observations et expérimentations l'aient renversée.

DEUXIÈME SECTION. — LES VÉGÉTAUX.

§ 1. PLANTES POLYCELLULAIRES EN GÉNÉRAL.

Leur formation et leurs transformations.

Pour bien comprendre le règne végétal, il faut se rendre compte que chacun des êtres qui le composent, est formé par la réunion d'un nombre plus ou moins considérable de cellules ou globules en tout semblables à la cellule primitive, c'est-à-dire présentant, réunies, la matière sur la*quelle se développe* la nervosité, la substance con-

tractile, qu'on qualifie de musculaire chez les animaux, e une troisième substance indifférente, dans laquelle s'accu mulent les matériaux destinés à la nutrition de l'ensemb et aux diverses sécrétions. Les différences, en apparen si considérables, qui distinguent les individus, dépender uniquement du mode de groupement des cellules et de l conformation des membranes d'enveloppe, caractères qu paraissent être le résultat des nuances plus ou moins accentuées que présentent les éléments du protoplasme, nuances qui, le plus souvent, échappent à notre appréciation.

Toute cellule végétale, dépourvue de membrane d'enveloppe, sent et se meut d'une manière évidente, absolument comme la monère animale; mais ce n'est qu'un état transitoire suivi bientôt de la formation d'une membrane de cellulose, et le plus souvent cette liberté n'existe jamais.

Quant à l'agglomération des éléments des végétaux composés, elle a eu lieu de la manière suivante. Les cellules primitives, après s'être segmentées en deux parties par suite des progrès de la nutrition, ne restèrent pas indéfiniment isolées; certaines demeurèrent unies, soit par un reste d'affinité de leur protoplasme respectif, soit par la soudure de leur membrane d'enveloppe. Puis, chaque nouvelle cellule se segmentant à son tour, il en résulta des individus polycellulaires de dimensions variables. Les premiers vécurent dans l'eau de la mer, soit à l'état de corps flottant, soit fixés au sol. Lors de la formation des collections d'eau douce, plusieurs y pénétrèrent, en se modifiant. Enfin, après l'émersion permanente des continents, ceux-ci furent envahis à leur tour et devinrent le théâtre de transformations qui achevèrent de constituer le *règne végétal*. Nous allons retracer la série de ces véritables métamorphoses aussi exactement que l'état actuel de nos connaissances le comporte.

§ 2. THALLOPHYTES.

Algues marines : croissance ; reproduction par spore et par œuf ; transformation ; distribution géographique et géologique. Algues d'eau douce : Chara. — Algues terrestres ; champignons ; lichen ; bactéries.

On a donné le nom de *thalle* (θαλλός, rameau vert) à des réunions de cellules vertes, et par extension celui de *thallophytes* (1) à toutes les plantes formées par le groupement de cellules sans différentiation notable. Tous les thallophytes à chlorophylle sont des *algues*.

Algues marines. — Ce sont à peu près les seuls végétaux marins. Les unes ont une seule enveloppe, qui se dilate au fur et à mesure de la multiplication des corps cellulaires. Chez les autres, chacun de ces corps, après sa formation, sécrète une cloison, qui donne naissance à de nouvelles cellules; ce sont de beaucoup les plus nombreuses.

La multiplication des cellules a lieu tantôt suivant une seule ligne, tantôt en longueur et en largeur, de manière à former des lames composées d'une seule assise. Le plus souvent, il y a plusieurs assises, si bien que la plante présente les trois dimensions, mais dans des proportions fort inégales. Elle prend ainsi une forme d'apparence foliacée, avec une faible épaisseur, une largeur assez considérable et une longueur beaucoup plus étendue.

Chaque cellule a une vie indépendante; elle absorbe la solution saline et l'acide carbonique nécessaires à la nutrition, ainsi que l'oxygène qui doit y développer la nervosité. Cependant, il n'y a que les cellules extérieures qui

(1) Θαλλός et φυτόν, plantes.

absorbent les substances alibiles, et, comme les cloisons sont perméables, elles les transmettent aux plus profondes. Dans ces conditions, ce sont les marginales qui, mieux nourries, se subdivisent, ou même seulement certaines d'entre elles ; dans ce dernier cas, on dit que la croissance est terminale.

Un certain nombre d'algues sont flottantes ; mais il en est beaucoup qui, au contact d'une surface rugueuse, finissent par se fixer. Le mécanisme de cette fixation est très simple. Les cellules, en se multipliant, pénètrent dans les anfractuosités, et, s'accroissant, s'y trouvent à l'étroit, et retiennent ainsi le reste de la plante. Le développement du corps protoplasmique s'arrête alors, et les matériaux nutritifs se portent sur la membrane de cellulose, qui se durcit et donne de la consistance à cette espèce de crampon. Ainsi renfermées, elles absorbent moins, et la croissance se porte vers l'autre extrémité.

Si la multiplication est plus rapide sur certains groupes isolés de cellules marginales, le thalle présente des divisions plus ou moins profondes, qui rappellent celle des feuilles des plantes terrestres. Etant donnée l'influence de la lumière sur la nutrition, on comprend que les algues, comme toutes les plantes vertes en général, croissent surtout dans la direction du point de départ des vibrations.

Leur limite de croissance et surtout ses causes sont peu connues. Il en est qui, comme certaines Laminaires, atteignent plusieurs centaines de mètres de longueur, et d'autres qui restent toujours très petites. En général, la croissance est indéfinie chez celles dont les cellules, disposées sur une seule ligne, se détachent en plus ou moins grand nombre du tronc primitif.

Comme nous l'avons vu, la reproduction de la cellule *verte isolée* était très simple ; sa bipartition donnait naissance à deux individus nouveaux. Mais chez les algues

polycellulaires qui lui ont succédé, la multiplication des cellules est un mode de croissance et non de reproduction ; celle-ci a lieu de la manière suivante.

Sous l'influence d'un mouvement nutritif particulier et non encore spécifié, le corps protoplasmique d'une cellule superficielle se contracte et cesse d'être en rapport avec les parois de sa loge. Ainsi abandonnée, la membrane limitante externe se détruit, et le corps en question devient libre; il se nourrit pour son propre compte, se sécrète une nouvelle loge, et, en se divisant, reproduit une plante nouvelle ayant la même forme et les mêmes caractères que celle dont il est issu. Cette cellule ainsi isolée prend le nom de *spore* (1).

Quelquefois, avant de devenir libre, elle se divise en un certain nombre de corps plus petits qu'elle, qui forment autant de spores ou de graines, toutes aptes à reproduire des individus nouveaux, que les courants du liquide ambiant disséminent au loin.

D'autres fois, la mise en liberté de la spore est précédée de la production de petits filaments d'apparence ciliaire, émanés de la substance contractile du protoplasme et que la nervosité met en mouvement aussitôt la sortie. Alors la *zoospore* (animal spore) se meut dans l'eau, cherchant une surface solide où elle puisse se fixer. Aussitôt qu'elle l'a rencontrée, elle s'y colle, rentre ses cils, s'enveloppe d'une membrane de cellulose, et reproduit l'algue, dont elle est issue, par une série de bipartitions, de la manière que nous avons indiquée ci-dessus.

Mais il arrive souvent que les cellules, différentiées pour la reproduction, ne contiennent qu'une partie des matériaux nécessaires pour une végétation régulière; il faut alors qu'elles cherchent un corps protoplasmique complémen-

(1) Σπορά, graine, de σπείρω, semer.

taire que l'affinité leur désigne : c'est la reproduction sexuée. On qualifie de mâle la spore qui fait le plus de chemin pour opérer la réunion, et de femelle celle qui attend. Quand elles se sont rencontrées, elles se fusionnent d'une manière complète, chaque élément protoplasmique se confondant l'un avec l'autre, noyau à noyau, substance contractile à substance contractile. On donne le nom d'*œuf* au résultat de la combinaison.

L'union des éléments sexués se fait de bien des manières. Si les corps protoplasmiques sont voisins, ils sortent de leur loge, en formant deux canaux de cellulose qui s'anastomosent, et la fusion se produit à moitié chemin ; ou bien l'un d'eux fait tout le trajet, et cette fusion a lieu dans la loge de l'autre. D'autres fois, il y a production de zoospores mâles et femelles, qui, se rencontrant dans l'eau ambiante, se réunissent sans perdre leurs cils moteurs, et l'œuf formé continue à errer jusqu'à ce qu'il trouve à se fixer pour végéter et reproduire l'algue mère. Enfin, et c'est le cas le plus ordinaire, l'élément mâle sort seul, sous forme de spore ou de zoospore, et va trouver l'ovule encore renfermé dans sa loge entr'ouverte pour le recevoir. Ce n'est que plus tard que l'œuf mûr se détache et tombe au fond de l'eau, si, toutefois, il ne donne pas au préalable naissance à de nombreuses spores ou zoospores, qui décuplent la reproduction. Un seul élément mâle suffit pour la fécondation.

Ainsi, chaque individu nouveau procède toujours d'une seule cellule, comme cela a eu lieu lors de l'apparition de la vie, avec cette différence que la cellule primitive s'était formée par génération spontanée, tandis que la cellule mère actuelle est issue de l'ancêtre direct qu'elle doit reproduire. Si le milieu reste le même, la nouvelle *plante* ressemblera absolument à la mère ; mais, s'il se *modifie* graduellement, au bout d'un certain nombre de

générations il se manifestera des différences assez tranchées pour qu'une espèce nouvelle soit formée, et ainsi de suite.

Les variations du milieu, en ce qui concerne les algues marines qui nous occupent, portent sur l'intensité de la lumière et de la chaleur, la profondeur de l'eau, son calme ou son agitation et son degré de salure, sur les proportions des substances assimilables, telles que l'acide carbonique, les nitrates, sulfates et phosphates alcalins, et sur la quantité d'oxygène susceptible de mettre la substance nerveuse en activité.

Comme ces conditions influent sur la composition chimique de toutes les cellules composant la plante, la spore et l'œuf transmettent à la nouvelle plante les modifications qui en résultent. La végétation ne se fait donc plus d'une manière absolument identique à celle de la mère; il y a formation d'une variété. Si les changements du milieu persistent et s'accentuent, la différence se prononcera davantage à la seconde génération, de telle sorte qu'au bout d'un temps plus ou moins long, des siècles peut-être, après un nombre considérable de générations, l'écart entre le premier ancêtre et son dernier descendant sera tel, qu'on sera tenté de nier la filiation.

Si le milieu change trop brusquement, la plante mère peut succomber et l'espèce disparaître; mais alors même qu'elle serait assez robuste pour résister, l'œuf ou les spores plus délicats ne pourront végéter, et l'extinction de la race n'en sera pas moins certaine. La transformation comme la disparition d'une espèce, est donc le résultat de l'action physico-chimique du milieu sur les éléments du protoplasme des cellules.

Si deux espèces sont en présence [illegible] plus rapidement les matériaux [illegible] l'autre de la région, surtout [illegible] n'a pas changé en apparence [illegible]

modification profonde relativement à celle qui a succombé, faute d'aliment.

Je dois citer, pour être complet, un troisième mode de reproduction des algues marines, bien qu'il n'appartienne qu'à quelques espèces. Quelquefois, un groupe de cellules normales se détachent de la plante mère et vont isolément la reproduire avec tous ces caractères. C'est une espèce de marcottage naturel, une véritable bouture.

J'ai beaucoup insisté sur le mode de reproduction des thallophytes marins et sur le mécanisme de leur transformation, parce que les mêmes phénomènes se produisent dans tous les autres embranchements du règne végétal. Pour les bien comprendre, il suffira de se reporter à ce que nous venons de dire.

La distribution des algues dans le milieu marin est excessivement intéressante au point de vue qui nous occupe. Toutes contenant de la chlorophylle, c'est-à-dire se nourrissant de substances minérales, ont besoin de recevoir les vibrations lumineuses dans de certaines proportions. Or, comme celles-ci sont absorbées par l'eau de mer, au delà de 100 mètres de profondeur, la végétation devient rare et disparaît plus ou moins rapidement suivant la limpidité du liquide superposé, par suite de l'extinction progressive de la lumière.

Mais, par suite de la différence de réfrangibilité des vibrations, cette extinction a lieu successivement en commencant par les rouges, qui sont moins réfrangibles, pour finir par les violettes, qui le sont au maximum. Ainsi, à une certaine profondeur, ces dernières pénètrent seules. Dans ces conditions, la chlorophylle, qui absorbe toujours les mêmes vibrations et dans des proportions données, n'était pas apte à fabriquer, sans aide, la matière organique sur une étendue de 2 ou 300 mètres à partir de la surface, la zone favorable à son action étant beaucoup plus res-

einte. En effet, on ne rencontre les algues franchement rtes que dans des limites resserrées ; au-dessus et au-ssous, elles changent de couleur. A la superficie, les antes en question prennent une teinte bleue ; au-des-us de la région favorable à la chlorophylle, une coloration une brun ; et, plus profondément encore, elles sont rouges, ut en conservant la proportion voulue de matière verte.

Ces matières colorantes sont des adjuvants de la chloro-hylle, mais ne peuvent la suppléer entièrement. La bleue iminue la quantité des vibrations les plus réfrangibles, u'elle réfléchit en partie ; la jaune brun et la rouge en acilitent au contraire progressivement l'absorption, pour uppléer à leur diminution, si bien que la quantité de lu-nière absorbée est toujours sensiblement la même, et le ravail chlorophyllien toujours assuré. Cette curieuse dis-ribution des algues, suivant leur couleur, est facile à bserver sur certaines côtes, lorsque la mer laisse excep-ionnellement une vaste étendue de terrain à découvert. Elle n'offre d'exception que lorsque les accidents du sol nodifient la distribution de la lumière.

A 400 mètres, la végétation cesse ; on n'y rencontre même as de plantes incolores, qui n'y trouveraient d'ailleurs ucune substance organique capable d'assurer leur nu-rition. Dans le milieu liquide, tout être organisé, déco-oré, doit être rangé dans le règne animal. Il n'en est plus e même sur le sol émergé, comme nous le verrons tout à heure.

Cette question si intéressante, à peine effleurée par uelques auteurs allemands, aurait besoin d'être appro-ondie. Il est probable que ce sont les vibrations lumi-euses qui donnent naissance à ces matières colorantes upplémentaires, par une action chimique analogue à celle ui produit la chlorophylle ; mais il faudrait s'en assurer. 'est ici que se fait bien sentir le besoin des expérimen-

tations pour confirmer les inductions tirées des observations.

Si, maintenant, nous jetons un coup d'œil sur les algues qui occupent les quatre zones superposées, nous voyons que leur organisation se complique au fur et à mesure que leur habitat devient profond. Les algues bleues superficielles sont les plus simples; leurs corps protoplasmiques ne présentent point de noyau, si bien que, sans les cloisons de cellulose, on ne saurait les distinguer. Néanmoins, ils contiennent au complet les éléments de la matière vivante, car, lorsqu'ils sont nus et isolés, ils se meuvent absolument comme les monères. Je dois ajouter que la chlorophylle y est dissoute comme la matière bleue, et qu'elles ne se reproduisent que par spores.

Les algues vertes présentent une organisation plus normale. Chaque individu cellulaire a son noyau central; la chlorophylle y est fixée sur de petits corps de matière azotée auxquels on a donné le nom de *leucites*, absolument comme dans tout le reste du règne végétal. Cependant la plupart des espèces n'offrent pas de structure cloisonnée; l'enveloppe de cellulose est commune à tous les corps protoplasmiques, que l'on ne peut dénombrer que par les noyaux. Malgré cela, le thalle se différentie souvent en crampon et en lame végétative plus ou moins ramifiée; ce qui démontre bien que le cloisonnement n'a pour le végétal qu'un intérêt secondaire, et ne lui sert que comme appareil de soutien et de protection. La reproduction a lieu par spore et par œuf, après que le corps reproducteur s'est au préalable entouré d'une enveloppe propre, qui permet de le distinguer facilement.

En passant aux algues brunes et rouges, l'organisation se perfectionne; la structure cloisonnée est la règle; les cellules sont juxtaposées dans toutes les dimensions. Parmi les premières, on remarque surtout les Fucus, dont les

parties sont tellement différentiées extérieurement, qu'on croirait voir des plantes à tiges, feuilles et racines; puis viennent ces Laminaires, véritables géants de la végétation, dont la longueur dépasse souvent 300 mètres. Les algues rouges, ou Floridées, sont plus délicates, mais elles présentent un degré d'évolution encore plus avancé. Ainsi les œufs, dans certaines espèces, se développent sur la plante mère en une algue filiforme plus ou moins ramifiée, qui donne naissance à des spores qui vont au loin reproduire l'espèce.

Cette première végétation de l'œuf est très instructive; elle nous montre quelle a dû être, dans la série phylogénique, la filiation des formes du thalle. A la cellule simple primitive, a succédé une disposition linéaire qui a précédé la forme lamelleuse, la plus répandue aujourd'hui. Nous retrouverons partout ce parallélisme entre la phylogénie et le développement ontogénique.

En suivant la progression ascendante de l'organisation, depuis les algues bleues jusqu'aux rouges, on peut se demander si la vie n'a pas débuté par les premières, dont les cellules sont toujours disposées en file, forme la plus simple du thalle. Sans rejeter complètement cette hypothèse, on peut lui objecter que l'évolution n'a pas toujours lieu dans le sens progressif; il y a de nombreux exemples de dégénérescence, comme nous le verrons par la suite. Il se pourrait donc que le premier organisme ait apparu dans la région des algues vertes, si favorable à la productionde la chlorophylle, et qu'une dégradation se soit manifestée par leur progression vers la surface, tandis que des perfectionnements se réalisaient au fur et à mesure qu'elles gagnaient la profondeur. Malheureusement, l'étude du règne végétal n'a pas encore été faite au point de vue spécial du transformisme, qui, comme nous l'avons montré, *présente*, en France, encore tant de dan-

gers pour les savants qui, presque tous, aspirent aux fonctions officielles.

Tel est l'état actuel de la flore marine, qui certainement a été la première à se développer. Quelles formes a-t-elle revêtu lors de son apparition? Il est difficile de s'en rendre compte aujourd'hui. Mais, malgré la rareté des débris découverts dans le silurien, et les doutes qu'ils laissent encore dans certains esprits, il est indéniable que les algues marines de ces époques reculées ont été nombreuses et d'un volume considérable fournissant à la faune, alors en train d'évoluer, une nourriture suffisamment abondante. Quant à l'époque de l'apparition des formes actuelles, elle peut être fixée au début de la période secondaire, dans les terrains de laquelle on a trouvé des traces évidentes d'espèces non cloisonnées, analogues à ces algues vertes dont nous venons de parler. Les Laminaires apparaissent à la base du lias ; mais c'est seulement à partir du tertiaire que les Fucus, puis les Floridées, ont été signalés. Ici, comme partout, la progression chronologique suit donc une marche parallèle à celle des complications de l'organisation.

Algues d'eau douce. — Lorsque les premières collections d'eau douce ou saumâtre se formèrent dans le voisinage des océans, les algues, qui y régnaient, comme aujourd'hui, sans partage, tentèrent d'envahir le nouveau milieu; mais ce changement ne leur fut pas favorable. Bien que les quatre groupes que nous avons décrits y soient représentés par un certain nombre d'espèces, toutes ont une forme grêle, plus ou moins désagrégée, et présentent, dans leur organisation, des caractères évidents d'infériorité. Il en a dû toujours être ainsi, car les dépôts d'eau douce n'en ont fourni à aucune époque des traces de quelque importance.

Il n'y a d'exception que pour une algue verte, d'une

organisation relativement élevée, le *Chara*, que l'on rencontre dès le trias, à la base des terrains secondaires, avec la forme qu'il a encore aujourd'hui. Il habite à la fois les eaux saumâtres et les étangs, voire les ruisseaux aux courants rapides. Bieu que le thalle des Chara (il y en a plusieurs espèces) soit formé de cellules disposées bout à bout en série linéaire, ces filaments se ramifient et s'accolent de telle manière, que la plante a l'aspect d'un végétal terrestre, avec une tige et des feuilles étroites groupées en verticille ; pour compléter l'illusion, sa croissance a lieu à la fois par le sommet de la tige et par des bourgeons axillaires.

Nous avons déjà signalé, à propos des algues marines, cette tendance des plantes à chlorophylle à prendre les formes qu'affectent autour de nous les végétaux terrestres; l'explication en est toute naturelle. La lumière, qui est la cause principale de la croissance, agit sur tout le règne végétal de la même manière, quel que soit le milieu dans lequel il vive; de plus, les obstacles que cette croissance rencontre variant très peu, il n'y a rien d'étonnant que les mêmes formes se reproduisent, quelles que soient les complications de structure.

Les Chara se fixent au sol par des filaments qui y pénètrent plus ou moins profondément, en perdant leur chlorophylle. Les cellules de ces filaments reçoivent par endosmose les substances alimentaires élaborées par les cellules vertes. Les racines de tous les végétaux supérieurs sont nourries de la même manière; nous y reviendrons.

Aucune espèce ne produit de spores; la reproduction a lieu par marcottage naturel et par œuf. Les éléments sexués peuvent être portés par des individus différents, l'un mâle et l'autre femelle. Cette particularité, que nous signalons pour la première fois, se rencontre assez souvent dans la série *végétale ascendante*. Mais il arrive que dans les con-

trées où la plante mâle fait défaut, la plante femelle suffit à la reproduction ; son ovule est une spore. L'œuf produit avec ou sans fécondation est enveloppé par des filaments du thalle disposés en spirale et dont la cellulose, en se lignifiant, forme une coque très dure, capable de résister à tous les agents atmosphériques et de protéger l'œuf, jusqu'à ce qu'il rencontre des circonstances favorables à la germination. C'est cette coque que l'on retrouve dans tant de gisements géologiques d'origine lacustre; et, comme elle présente la même structure que celle actuelle, on en a conclu que les formes étaient identiques.

L'élévation relative des Chara nous montre que, même dans un milieu défavorable, la transformation peut avoir lieu dans un sens progressif, lorsque l'adoption est complète. Nous en trouverons par la suite d'autres exemples.

Toutes les autres algues d'eau douce présentent des caractères d'infériorité très accentués et acquis sans doute au moment du changement de milieu. Telles sont ces conferves filamenteuses qui encombrent souvent les mares. Chez d'autres, la disposition linéaire des cellules n'est que momentanée ; chacune d'elles se détache pour vivre isolément. Elles forment alors ces couches vertes ou brunes qui se déposent sur les parois des réservoirs d'eau stagnante et même sur les autres plantes qu'ils contiennent. Ce sont des amoncellements de cellules plus ou moins isolées. Les brunes, connues sous le nom de *Diatomées*, ont leur membrane de cellulose imprégnée suffisamment de silice pour permettre leur fossilisation ; aussi les a-t-on retrouvées jusque dans les houilles d'Angleterre, sans changement notable de forme. Dans des terrains plus récents, elles forment des couches de plusieurs mètres d'épaisseur. Cette poussière siliceuse sert au polissage du verre et des métaux (tripoli).

Algues terrestres. — La différence si considérable qui existe entre la composition de l'eau de mer et celle du liquide qui imbibe les terrains émergés, n'a pas permis aux thallophytes marins de survivre à un changement de milieu si brusque. Ils n'ont pas été les ancêtres directs des végétaux terrestres; cette filiation n'a pu avoir lieu que par l'entremise de ceux qui avaient subi une première transformation dans les collections d'eau pluviale. Nous n'y reviendrons donc plus.

Après le retrait des eaux, soit douces, soit saumâtres, les algues subirent les destinées les plus diverses. Un certain nombre, perdant leur chlorophylle, sans doute sous l'influence de l'obscurité de leur habitat, donnèrent naissance à la classe dite des *Champignons*, si nombreuse aujourd'hui; d'autres conservèrent leur caractère générique, tout en subissant des dégradations profondes, que nous exposerons plus loin; un troisième groupe a été la souche de l'embranchement le plus inférieur des végétaux terrestres, celui des *Mousses*. Mais la présence d'un sol encore très humide a été la condition indispensable qui leur permit de résister à l'émersion.

Les *Champignons* sont des thallophytes incolores dont les corps protoplasmiques sont disposés en série linéaire et enveloppés d'une membrane de cellulose cloisonnée ou non. Ils vivent, soit de matières organiques en décomposition dans les lieux obscurs et humides, soit à l'état de parasite dans des végétaux supérieurs pourvus de chlorophylle, dont ils compromettent plus ou moins l'existence. Quelques espèces peuvent même vivre aux dépens des animaux; nous avons vu des poissons rouges, littéralement envahis, succomber d'épuisement. Ces plantes ont toujours une partie de leur thalle plongée dans le milieu nutritif. Tantôt elles n'y enfoncent que quelques filaments qui *font l'office de* racines ou suçoirs, tantôt elles y sont

ensevelies en entier, n'émettant au dehors que les filaments chargés des organes reproducteurs.

Quelques-uns, les Myxomycètes, dont la *Fleur de tan* est le représentant le plus connu, ont leurs corps cellulaires complètement nus, tant que dure la période végétative. Alors on les voit errer, à la façon des monères, sous forme de petites masses gélatineuses, ramassant les débris organiques et les introduisant dans l'intérieur de leur substance. Après les avoir digérés, ils en expulsent les résidus impropres à la nutrition. Comme les protozoaires, ils contiennent, dans le liquide qui les imbibe, les substances nécessaires à la digestion, des albuminoïdes et des hydrates de carbone, tels que la fécule. Lorsqu'ils se sont suffisamment multipliés et alimentés, ils se groupent et s'enveloppent d'une membrane de cellulose pour donner naissance aux organes reproducteurs.

La plupart des Champignons se reproduisent par spores qui, quelquefois, prennent la forme de zoospores, si le milieu nutritif est suffisamment humide. L'appareil qui produit les spores, est souvent très compliqué par suite de l'intrication des filaments ; celui des espèces de nos forêts est connu sous le nom de *champignon*, dénomination devenue impropre depuis que ces plantes sont mieux étudiées ; la plante véritable, le thalle, reste cachée.

Quelques espèces portent des œufs qui, après la fécondation, se subdivisent en un certain nombre de spores qui, chacune, deviennent la souche d'individus nouveaux.

Beaucoup de ces thallophytes, surtout parmi les parasites, meurent après la reproduction. Il en est même qui, en une seule année, produisent plusieurs générations, souvent sur des individus de différentes familles. L'influence du milieu modifie tellement la forme de ces champignons, qu'on a longtemps regardé comme des espèces distinctes cune de ces générations. En voici un exemple tiré de la

rouille du blé, *Puccinia graminis*, de la famille des Urédinées. Les spores d'automne passent l'hiver, à l'état de vie latente, dans leur épaisse enveloppe de cellulose. Ils germent au printemps à la surface du sol; le petit thalle qu'ils forment périt après la production de spores que le vent entraîne sur les jeunes pousses de l'*Épine-vinette*, où la plante prend deux aspects différents, suivant la face des feuilles qu'elle envahit. De ces deux variétés de Puccinia, s'échappent bientôt des spores oranges qui ne peuvent germer que sur les nouvelles feuilles du blé, auxquelles elles donnent une couleur rougeâtre, origine du nom vulgaire. Pendant tout l'été, le parasite exerce des ravages effrayants, surtout si la saison est humide. Avant la maturité, enfin, il prend un cinquième aspect; c'est la rouille noire, dont la coloration est due à la teinte foncée des spores d'hiver. Conclusion : détruire toutes les Épines-vinettes dans le voisinage des champs de blé.

Les *Algues terrestres*, qui ont conservé les caractères primitifs malgré l'émersion du sol, ont, en général, un aspect chétif, dû sans doute à la dégradation des types. Quelques-unes, tout en conservant leur chlorophylle, ont, à une époque relativement récente, cherché un asile dans des plantes d'une évolution plus avancée. Elles leur empruntent une partie des solutions salines qu'elles tirent du sol, et, avec l'acide carbonique de l'air, fabriquent elles-mêmes les matériaux nécessaires à leur nutrition et à leur reproduction. Elles sont donc bien moins dangereuses que les champignons parasites. L'exemple le plus intéressant est celui de la *Mycoïdea* (apparence de champignon) qui vit dans les feuilles du Camélia. Elle a conservé tous les caractères de la famille des Conferves d'eau douce, d'où elle provient. L'élément reproducteur est un anthérozoïde, qui ne peut gagner l'oosphère à l'aide de ses cils vibratiles que si la pluie a déposé sur la plante nourricière

une certaine couche d'eau. Elle produit aussi des zoospores, qui ne peuvent se disséminer que dans les mêmes conditions.

Le thalle de la plupart des autres s'est dissocié, et chaque cellule isolée vit misérablement là où il y a un peu d'humidité. Ce sont elles qui donnent cet aspect verdâtre aux vieux troncs d'arbre, du côté où le vent chasse habituellement la pluie. Il leur faut si peu de nourriture.

Parmi ces dernières, il en est qui, conservant pour les Champignons une certaine affinité, due à leur communauté d'origine, contractèrent avec eux des mariages de raison, qui profitèrent à chacun des conjoints.

Des spores de champignons, portées par le vent sur des troncs d'arbre ou sur des rochers dénudés, y rencontrèrent de petites cellules vertes. Après leur germination, les filaments du jeune thalle enlacèrent ces cellules, et donnèrent naissance aux *Lichens*. Le champignon, par ses nombreuses ramifications, pompa la solution saline, qu'il transmit à l'algue, et en reçut en échange le superflu de la matière organisable qu'elle avait fabriquée. Chaque élément se nourrit et se reproduisit séparément à frais communs, et, leurs descendants contractant de nouvelles unions, le lichen se propagea. Il ne doit donc pas être regardé comme une véritable plante, mais comme une association, un *consortium*. On a pu constituer artificiellement de ces ménages ; on est même parvenu, en recueillant isolément les spores des éléments de lichens naturels et en les plaçant dans un milieu nutritif convenable, à les faire végéter isolément, comme si leur union n'avait jamais existé.

Il me reste à parler de certaines algues qui jouent dans le monde organique un rôle destructeur des plus terribles Elles sont devenues célèbres dans ces dernières années sous le nom impropre de Microbes. Bien qu'elles soient

incolores, en considération de l'infériorité de leur organisation, on a cru pouvoir les rattacher aux algues bleues.

Elles s'attaquent à toute matière organique vivante ou morte et tendent à la ramener à l'état purement minéral. C'est par elles que se terminera l'épisode de la vie sur la terre, épisode qui pourrait bien avoir été inauguré par leurs ancêtres colorés. Leur évolution, bien que renfermée dans des limites très restreintes, est continuelle ; chaque fois que la suite des transformations organiques fait surgir un nouveau produit, un nouvel être, immédiatement elles s'en emparent et acquièrent dans ce nouveau milieu de nouvelles propriétés. C'est ainsi que, depuis que l'homme, en se perfectionnant, s'est entassé sur certains points de la surface terrestre, elles sont devenues ses ennemis les plus redoutables, comme ceux des animaux qu'il a domestiqués.

Leurs spores, grâce à leur grand nombre et à leur petitesse (1 ou 2 μ), pénètrent partout, et, aussitôt que les conditions deviennent favorables, leur multiplication est si rapide, qu'en quelques heures les liquides animaux en sont pour ainsi dire solidifiés. L'amidon, la cellulose et tous leurs dérivés, ont leur microbe spécial, qui en simplifie de plus en plus la composition ; il en est de même des corps gras et des albuminoïdes.

Lorsque ces algues pénètrent dans un animal, dans ses vaisseaux sanguins par exemple, elles s'emparent de l'oxygène des globules, source de la vie, et vivent aux dépens des éléments réparateurs ; la mort est donc presque certaine. Si elles se confinent dans le tube digestif, le danger est tout autre, mais aussi menaçant. En décomposant les matières qu'elles rencontrent, elles donnent naissance à de nouveaux produits, à des poisons, qui, absorbés par l'animal, vont détruire les éléments cellulaires qui le composent. Ces poisons sont des espèces d'alcaloïdes auxquelles

on a donné le nom générique de *Ptomaïnes*. Quelques-uns des microbes qui vivent dans le milieu nutritif, produisent aussi de ces ptomaïnes, si bien que la perte du sujet est encore plus assurée.

Ces algues portent le nom générique de *Bactéries*. Leur thalle est filiforme, rectiligne (bacille), ou en spirale (bacille virgule); sa croissance est intercalaire, c'est-à-dire que chaque cellule se divise en deux. Mais l'adhérence de ces éléments est très faible, si bien qu'on les trouve presque toujours isolés ou en files de trois ou quatre au plus. Chaque cellule, au bout d'un certain temps, forme une spore qui est mise en liberté par la destruction de sa membrane de cellulose. Alors ces corps reproducteurs se disséminent partout, entraînés par le moindre contact, le moindre courant atmosphérique. Ils encombrent l'air, où ils restent très longtemps en suspension grâce à leur légèreté spécifique, et finissent par se déposer sur toutes les substances alimentaires ou autres. Sans la puissance de nos microscopes, on ignorerait encore leur existence et on continuerait à attribuer les maladies qu'ils produisent, soit à la colère des dieux, soit à la viciation des humeurs, soit à des miasmes, soit à toute autre cause chimérique.

La plupart de ces organismes tirent leur oxygène de l'atmosphère ; mais il en est quelques-uns que son abondance fait mourir, et qui le tirent des substances qu'ils décomposent, au fur et à mesure de leurs besoins ; ce sont les microbes *anaérobies*. Généralement ils sécrètent une substance gélatineuse qui les met à l'abri du gaz comburant.

En résumé, tous les parasites, champignons et algues vertes ou incolores, trouvent un milieu favorable dans les agglomérations d'êtres organisés de même espèce. D'abord ils s'y acclimatent ; puis leurs spores passent facilement d'un individu à l'autre ; enfin, leurs victimes

succombent en plus grand nombre, quand l'encombrement diminue la quantité d'oxygène et de substances alimentaires indispensable au maintien de la vie.

Les thallophytes terrestres, et spécialement les Champignons, n'ont pu laisser de traces bien manifestes dans les dépôts d'eau douce d'origine continentale, à cause de la délicatesse de leurs tissus; nous n'avons donc aucun renseignement sur la date de leur apparition. Mais nous pouvons admettre que, si quelques algues ont pu évoluer dans ce sens dès les premières émersions, pour se nourrir des détritus organiques abandonnés par les eaux, ce n'est que beaucoup plus tard que les formes parasitiques se sont montrées, puisqu'on ne les rencontre que chez les êtres organisés les plus différenciés et dont l'apparition est relativement récente.

§ 3. MUSCINÉES.

Leur origine; leur développement; spores adhérentes.

Nous avonsdit que l'embranchement des Muscinées procédait directement d'algues émergées. La preuve en est facile à faire.

D'abord le corps de ces plantes est un véritable thalle, comparable, pour la conformation extérieure, à celui des *Fucus*. Ils ont des espèces de crampons implantés dans le sol, avec une tige plus ou moins cylindrique qui porte des expansions foliacées ; mais la démonstration est bien plus évidente quand on en suit le développement.

Supposons une spore sortie de l'œuf fécondé d'une conferve filamenteuse. Déposée hors de l'eau sur un terrain suffisamment humide, elle germe et produit un thalle linéaire plus ou moins ramifié, analogue à celui de la plante mère. Mais, au bout d'un certain temps, l'humidité *diminuant et se réfugiant* dans les interstices du sol, une

ou plusieurs des cellules, au lieu de se segmenter perpendiculairement à l'axe du filament couché, se divisent suivant un plan parallèle à cet axe. Les nouvelles cellules en contact avec le sol, se trouvant mieux alimentées, se gonflent et y pénètrent, en s'y multipliant. Comme elles absorbent une grande quantité de liquide nutritif, les cellules supérieures, nées en même temps qu'elles, en profitent et se multiplient à leur tour, mais dans un sens opposé, c'est-à-dire en s'élevant dans l'atmosphère. Bientôt, l'aliment affluant en abondance, les cellules aériennes prolifèrent dans toutes les directions et forment un thalle membraneux ou massif, qui ne puise dans l'atmosphère que l'oxygène et l'acide carbonique, la solution saline lui arrivant par les cellules enterrées. Celles-ci, faute de lumière, perdent leur chlorophylle et reçoivent, en échange du liquide qu'elles communiquent au thalle aérien, la matière organisable élaborée qui leur permet de se nourrir. Ces échanges sont le résultat de phénomènes osmotiques que l'observation et l'expérimentation ont parfaitement spécifiés.

Le courant ascendant, activé par l'évaporation qui se produit à la surface du thalle aérien, finit bientôt par détruire le corps protoplasmique des cellules situées dans sa direction, et la vie se limite aux cellules vertes de la surface et des interstices ; c'est par elles que la matière élaborée arrive au thalle incolore implanté dans le sol ; seulement, comme elle est en petite quantité, il reste grêle, filiforme, et mérite seulement le nom de *poil*. C'est le premier vestige de la circulation qui s'établira d'une manière complète, sous la même influence, dans l'embranchement suivant.

Les phases de cette évolution que je viens de décrire, sont précisément celles que toutes les muscinées parcourent dans leur développement, avec cette différence, que la spore génératrice ne provient plus d'une algue d'eau douce, mais

d'une muscinée antérieure. En effet, le thalle aérien produit bientôt des spores mâles et femelles; les premières viennent féconder les secondes *in situ*, et les œufs ainsi formés se segmentent en spores nouvelles qui, mises en liberté, vont au loin reproduire la plante selon le mode que nous venons d'exposer. Le passage des végétaux aquatiques aux végétaux terrestres s'est donc effectué d'une façon très simple sous l'influence des propriétés physico-chimiques du nouveau milieu. Encore maintenant toute la première partie du développement des muscinées, l'état algue, se passe, sinon dans l'eau, du moins sur un sol très humide.

Nous ne nous arrêterons pas longtemps à ces plantes; nous dirons seulement que les plus inférieures d'entre elles, les *Hépatiques*, sont formées simplement d'un thalle membraneux couché sur le sol, émettant des poils absorbants par sa surface terrestre ; les Mousses proprement dites présentent seules des tiges et des feuilles. Certaines de ces dernières ont fait retour au milieu liquide, mais sans modifier sensiblement leur forme; elles tirent toujours du sol la solution saline et n'empruntent guère à l'eau ambiante que l'oxygène et l'acide carbonique. C'est, du reste, un phénomène que l'on observe presque à toutes les périodes de l'évolution des végétaux terrestres.

Les Muscinées ne produisent pas de spores *libres* susceptibles de reproduire isolément la plante mère; cependant le phénomène a toujours lieu. Ainsi certaines cellules se différencient : les unes, situées en dessous de l'implantation des feuilles, produisent, sans se détacher de la tige, des branches, qui sont en réalité des individus surajoutés; ce sont des spores *adhérentes*. Elles empruntent au tronc principal le liquide nutritif puisé dans le sol. D'autres, nées à l'extrémité de la tige, se multiplient un certain *nombre de fois*, puis, tombant sur le sol, donnent

naissance à une nouvelle plante, en suivant toutes les phases que l'on constate lors du développement de la spore sortie de l'œuf; on les nomme *propagules*. Passons maintenant à un troisième embranchement, celui dont les Fougères sont les principaux représentants.

§ 4. CRYPTOGAMES VASCULAIRES.

Leur origine; leur développement; apparition de la circulation.

Ces plantes procèdent directement des Muscinées. Prenons une spore sortie de l'œuf d'une hépatique: elle donne naissance d'abord à une algue filamenteuse, puis à un thalle lamelleux qui se nourrit par des poils émanés de la face inférieure et qui plongent dans le sol. La jeune plante produit bientôt des spores sexuées; les mâles vont s'unir aux femelles dans leur loge, et l'œuf est formé. Il se divise alors en plusieurs cellules, qui, dans les circonstances ordinaires, forment autant de spores. Cela a lieu si les appareils reproducteurs sont situés sur la face du thalle qui regarde le ciel; mais s'ils se sont développés sur la face inférieure au contact du sol, les cellules de l'œuf restent unies et végètent sur place. Les inférieures, en se multipliant, s'enfoncent dans la terre, et les supérieures s'élèvent vers le ciel, les premières, dépourvues de chlorophylle, et les autres, parfaitement colorées. Le nouveau végétal se trouve donc dans des conditions de végétation très favorables, et le premier thalle peut mourir ; c'est précisément ce qui a lieu chez toutes les Cryptogames vasculaires.

La plante ainsi formée est d'emblée, lors de sa naissance, beaucoup plus volumineuse que l'hépatique mère, aussi sa végétation s'en trouve-t-elle singulièrenent accé*lérée*. *La* partie enterrée se multiplie suivant toutes les

dimensions, et forme une véritable racine qui s'enfonce de plus en plus, en pompant avec activité la solution saline par l'intermédiaire de ses cellules superficielles, allongées en forme de poils. De même, le segment aérien forme de suite une tige épaisse, puis des feuilles.

Sous l'influence de cette végétation active, le courant ascendant du liquide nutritif, détruit d'abord, comme chez les Mousses, le protoplasme des cellules qu'il traverse, puis perfore les cloisons qui les séparent ; il en résulte des canaux, des vaisseaux, que la seve parcourt avec facilité. D'autre part, la matière organisable, produite en abondance par l'action chlorophyllienne des feuilles, envahit certaines autres cellules également en série linéaire, et absorbe le protoplasme qu'elles contiennent ; puis, sans cesse poussées de haut en bas par l'arrivée de nouveaux matériaux, elle presse sur la cloison inférieure, en dissout certains points et en forme une espece de crible qu'elle traverse alors avec une certaine facilité. Elle continue ainsi sa marche vers la racine et arrive jusqu'à son extrémité, ayant donné naissance à ce qu'on appelle un tube criblé, dans le parcours duquel elle s'est distribuée par endosmose aux cellules voisines. Comme ce phénomène circulatoire se continue dans les deux sens au fur et à mesure du développement de la partie aérienne et de la racine, le végétal se trouve muni d'une canalisation complète, qui assure la nutrition de toutes ses parties, qu'elles contiennent ou non de la chlorophylle. Il mérite donc bien l'épithète de vasculaire.

Ainsi, le développement *ontogénique* de ces végétaux reproduit exactement leur *phylogénie*. D'abord c'est un individu monocellulaire, puis une algue filamenteuse, ensuite une muscinée, de laquelle procède une nouvelle forme. Pour compléter le tableau, ajoutons que toute la première partie de cette évolution doit se passer dans l'

endroits très humides, ou tout au moins durant une saison pluvieuse.

Tel est le développement des *Fougères,* des *Queues de cheval* ou *Prêles*, des *Lycopodes*, etc., avec cette différence, que la spore originelle provient d'un individu adulte. On m'objectera peut-être qu'on ne rencontre aucune espèce d'hépatiques formant des spores reproductrices sur la face de son thalle en contact avec le sol. Cela est tout naturel, puisque c'est précisément cette variation qui a amemé la formation des végétaux vasculaires.

Les spores de dissémination, dans l'embranchement dont nous nous occupons, se développent sur les feuilles qui servent à la nutrition, ou sur d'autres beaucoup plus petites et disposées en épi au sommet de la tige. Parmi les feuilles qui présentent cette variation, il en est qui ont deux espèces de spores, les unes petites (microspores) donnent naissance à des thalles hépaticoïdes mâles, les autres plus grosses (macrospores), à des thalles femelles. Enfin, dans quelques genres de ces mêmes familles, les deux espèces de spores commencent à former leur thalle avant de s'échapper de la plante mère. Telles sont les Sélaginelles, voisines des Lycopodes. C'est dans l'enveloppe même de la spore que commence la multiplication des cellules correspondant à la phase algue et au début de la phase muscinée. Cette variation prépare l'avènement des Phanérogames, comme nous le verrons tout à l'heure.

L'apparition d'une canalisation dans les végétaux terrestres pouvait seule leur permettre de prendre un développement considérable ; c'est en effet ce qui a eu lieu. Il n'est donc pas étonnant que, grâce à leur volume et à leur solidité, les Cryptogames vasculaires aient été conservées dans les couches géologiques pour ainsi dire dès leur apparition, tandis que les chétives muscinées, dont ils tirent leur origine, n'apparaissent que dans les terrains

récents et encore dans des conditions de fossilisation tout à fait spéciales. Au début de l'époque houillère, il n'y avait pas d'autre gazon, aussi doivent-elles être entrées pour une certaine part dans la formation du charbon minéral, puisque, aujourd'hui encore, elles forment la plus grande partie des tourbes combustibles.

Il est probable qu'à chaque émersion du sol, la série des transformations s'est répétée, pour disparaître après le retour des eaux; en effet, on trouve des *Lepidodendron* jusque dans le silurien supérieur. A l'époque carbonifère, si les continents ne sont pas devenus définitifs, ils sont restés assez longtemps découverts pour permettre un développement considérable des nouvelles espèces formées. Les circonstances de milieu étaient des plus favorables: l'acide carbonique abondait dans l'atmosphère et le liquide du sol vierge était riche en sels assimilables. Ainsi s'explique cette explosion de végétation, qui, par suite de l'ensevelissement des quantités énormes de carbone qu'elle avait fixées, assura le développement des animaux à respiration aérienne.

C'est alors sans doute que se formèrent les plantes phanérogames qu'on signale déjà dans le dévonien sous forme de Cycadées.

§ 5. PHANÉROGAMES.

Leur origine. — Phénomènes de la floraison.

Pour bien comprendre le passage des Cryptogames vasculaires aux Phanérogames, il est indispensable de se rendre un compte exact des caractères de la fleur de ces derniers, et de saisir nettement les relations qui existent entre elles et les organes de reproduction des autres embranchements.

Depuis Gœthe, l'illustre poète naturaliste, il est démontré que la fleur est une tige, ou fragment de tige, réduite dans toutes ses dimensions, et que les parties qui la composent sont des feuilles diversement modifiées. Cette tige peut et doit être considérée comme celle d'une Cryptogame vasculaire, munie à la fois de microspores et de macrospores, c'est-à-dire de spores devant donner naissance les unes à un prothalle mâle et les autres à un prothalle femelle; l'œuf est le résultat de la fusion de cellules différemment sexuées et nées sur ces prothalles, fusion produite par un mécanisme analogue à l'un de ceux que nous avons signalés chez les algues ; enfin la jeune plante se développe dans l'œuf lui-même, et, au moins au début, aux dépens du prothalle qui l'a formé. La seule différence, et elle est capitale, c'est que tous ces phénomènes se passent non à terre, mais sur la plante mère et à ses dépens. Quand le nouvel individu a atteint un certain développement, la tige qui le portait, meurt, et il tombe sur le sol, où, si les circonstances sont favorables, il reprend son mouvement végétatif interrompu durant un temps plus ou moins long ; mais, cette fois, la croissance se produit dans les conditions ordinaires.

Entrons dans plus de détails.

Le raccourcissement de la tige florale rapproche les feuilles qui, au lieu de décrire autour d'elle une spirale plus ou moins allongée, se disposent en verticilles. Le premier, généralement vert, porte le nom de calice ; le second, la corolle, est dépourvu de chlorophylle et se montre diversement coloré ; les feuilles du troisième, très petites, ont leur pétiole allongée et leur lame, ou limbe, très réduite. Ce limbe porte deux capsules remplies de microspores. Enfin, le quatrième verticille est composé de feuilles plus larges et le plus souvent sans pétiole ; ce sont elles qui portent les macrospores.

Au moment où le système a acquis tout son développe-

ıent, comme nous l'avons vu pour certaines Cryptogames asculaires, les microspores et les macrospores commencent se segmenter et à former un prothalle rudimentaire ans leurs loges respectives; puis les éléments sexués appaaissent et atteignent leur maturité. Bientôt les cellules ıâles, ou grains de pollen, s'échappent. L'une d'elles, je uppose, tombe sur l'extrémité renflée d'une enveloppe de ıacrospore et se gonfle; puis, grâce à l'humidité qui en uinte, sous l'influence de son affinité pour la cellule femelle ifférenciée également parmi celles du petit thalle de la ıacrospore, elle forme une espèce de boyau ou conduit de ellulose qu'elle pousse à travers un orifice spécial jusqu'à 'ovule ou oosphère. Dès que le contact a lieu, les cloisons ui les séparent, se dissolvent et donnent accès à l'élément ıâle qui se fusionne avec l'élément femelle pour former ıne seule cellule, qui est l'œuf. A partir de ce moment, ous l'influence du voisinage d'un faisceau de canaux nuritifs émanés de la feuille support, cet œuf se segmente t, après avoir absorbé le prothalle, produit un embryon omposé de racine, tige et feuilles, plus un ou plusieurs ppendices y attenant, remplis de matériaux de réserve ui, dans la terre, fourniront aux premiers développements e la jeune plante.

C'est ainsi que les choses se passent dans les Conifères t deux autres familles, chez lesquelles les feuilles du vericille central ne se referment pas sur les loges à macrosore. On les a réunies pour cela sous le nom de *Gymnopermes* (1). Dans le reste du groupe des Phanérogames, ces euilles se ferment, et leurs extrémités, isolées ou réunies, orment le stigmate sur lequel la cellule pollinique végète omme nous l'avons indiqué. Son tube a un plus long rajet à parcourir pour arriver à la cellule femelle, mais

(1) *Γυμνός, nu, et σπέρμα,* graine.

le résultat est toujours le même. On a donné aux végétaux innombrables qui présentent cette particularité le nom d'*Angiospermes* (1).

On voit qu'il est bien exact de dire que la seule différence fondamentale entre les deux embranchements des végétaux vasculaires, siège dans cette particularité, que la végétation prothallienne et la fécondation se passent sur la plante mère et non sur le sol.

Cette modification entraîne un changement dans la manière dont les éléments sexués se rapprochent. Les Cryptogames vasculaires croissent toujours dans un terrain très humide qui présente, au moment de la maturité des microspores et macrospores, une certaine couche de liquide libre. Les cellules mâles qui y tombent, dissolvent leur membrane de cellulose, et, prenant la forme de zoospore, vont, en nageant avec leurs cils, trouver la cellule femelle dans sa loge, dont l'orifice baigne aussi dans l'eau. Dans les Phanérogames, au contraire, l'élément mâle est privé de tout mouvement, et son union avec l'ovule dépend complètement des circonstances extérieures. L'apparition du premier de ces embranchements a dû, par conséquent, suivre de près l'émersion des continents, et c'est sans doute à leur asséchement progressif qu'il faut attribuer la rétention de la macrospore sur sa feuille génératrice, rétention qui est la cause initiale de la transformation.

En résumé, les thallophytes ont en général besoin d'être immergés. Il en est de même pour les Muscinées et les Cryptogames vasculaires durant la première période de leur développement, alors qu'elles revêtent les formes du premier groupe. Plus tard, il leur suffit que les poils absorbants soient dans le liquide nutritif. Cette dernière condition se rencontre seule chez les Phanérogames, dont la

(1) Αγγεῖον, vaisseau, et σπέρμα, graine.

période thalloïde se passe au milieu du liquide fourni par la plante elle-même dans ses sommités fleuries.

Bien que les Phanérogames soient des plantes spéciales aux terres desséchées, certaines espèces ont pu retourner au milieu aquatique, sans perdre pour cela leurs caractères fondamentaux. Nous avons déjà signalé cette récurrence chez les Mousses ; les Cryptogames vasculaires en fournissent aussi des exemples ; mais, dans aucun cas, il n'y a réversion complète. Ainsi, la floraison des Phanérogames aquatiques, quel que soit le degré de leur immersion, a toujours lieu dans le milieu aérien, et les périodes ancestrales de leur développement embryonnaire sont toujours aussi abrégées, les stades algue et hépatique ne prennent pas plus de développement. On doit en conclure que la constitution chimique de leurs corps protoplasmiques ne présente aucun changement fondamental.

Avant d'aller plus loin, il est intéressant de remarquer que les tiges ou sommités de tiges qui revêtent la forme florale, quoique l'absence plus ou moins complète de chlorophylle les empêche de fabriquer la matière organisable, en reçoivent néanmoins une quantité suffisante par l'entremise de leurs tubes criblés. Cette matière leur arrive par reflux, soit des parties inférieures garnies de feuilles végétatives, soit des branches voisines qui en fabriquent en abondance, et dont les tubes criblés s'anastomosent avec les siens. Du reste, après la chute des étamines, de la corolle et même quelquefois du calice, les feuilles du dernier verticille, qui portent les œufs, se trouvant exposées à la lumière, se chargent de chlorophylle et se mettent à élaborer avec une certaine activité les matériaux qu'elles reçoivent des racines, au grand profit de l'embryon.

§ 6. MORPHOLOGIE DES VÉGÉTAUX TERRESTRES EN GÉNÉRAL.

Spores adhérentes; leur influence complexe.
Retour au milieu aquatique.
Direction inverse de la tige et de la racine.

Cherchons maintenant à expliquer cette variété extraordinaire des formes que revêtent les végétaux terrestres et spécialement les Phanérogames. L'exposé sommaire que nous venons de donner de l'évolution générale du règne végétal, va nous donner la clef de cette explication.

Le premier mode de reproduction des thallophytes a été la formation de spores, ou cellules spéciales, qui, détachées de la plante originelle, vont la reproduire au loin. Plus tard, certaines de ces spores se trouvant incomplètement fournies des matériaux nécessaires à la végétation, furent entraînées par l'affinité à s'unir à d'autres qui, elles, possédaient uniquement ce qui leur faisait défaut. C'est la reproduction par œufs. Mais la reproduction par spores n'en a pas moins persisté chez tous les individus de ce premier embranchement, et la formation des œufs est restée un accident. Souvent l'œuf lui-même se transforme en spores avant toute végétation.

Si nous passons aux végétaux terrestres, nous voyons que, depuis la mousse la plus inférieure jusqu'aux arbres de nos forêts, l'ovulation est devenue la règle. L'œuf des Muscinées se dissémine encore en spores asexuées, mais il ne s'en détache plus de la plante adulte. Cependant le phénomène de la sporification s'y manifeste encore d'une manière évidente. Nous avons vu que certaines cellules différenciées forment, en saillie sur certaines feuilles, un petit thalle qui s'en détache bientôt pour aller dans le voisinage reproduire l'espèce ; d'autres, situées sous le point d'émergence des feuilles, sont le point de départ

d'une nouvelle tige qui reste adhérente à l'ancienne. C'est le rudiment de vascularisation que nous avons signalé chez les Mousses, qui, en fournissant une alimentation abondante aux spores, leur permet de végéter vigoureusement sur la plante mère et de la reproduire sans s'en détacher.

Chez les thallophytes, il y a bien échange de matériaux, élaborés ou non, entre les cellules agglutinées, mais il se fait lentement ; conséquemment celles qui, par une différenciation spéciale dont on ignore la nature, sont disposées à une végétation rapide, n'y trouvent pas une alimentation capable de satisfaire à leur activité. Leur corps protoplasmique se concentre, cesse de nourrir la cloison qui la sépare du milieu ambiant ; puis, une fois libre par suite de sa rupture, elles vivent dans l'abondance et se multiplient par des divisions successives dont les résultats restent agglomérés avec la même forme que la plante mère. Tout au contraire, la spore, qui devra former la branche adhérente d'une mousse, se distingue par une turgescence qui prouve que les sucs nutritifs y affluent.

Nous allons étudier maintenant le même phénomène chez les végétaux vasculaires, qui ne font, à proprement parler, qu'un seul embranchement, surtout au point de vue qui nous occupe. Néanmoins nous tirerons la plupart de nos exemples des Phanérogames, qui sont mieux connues.

Une graine est plantée ; s'il ne s'y développe pas de spores adhérentes, elle formera une tige et une racine droites sans aucune ramification et n'aura d'autres organes que les poils absorbants de l'une et les feuilles de l'autre. Dans nos climats, où les feuilles sont caduques, cette plante mourra certainement la première année sans laisser de postérité, si toutes ses feuilles sont stériles, ou en donnant *naissance à de* nouvelles graines, si les supérieures

se transforment en une fleur. Mais ceci est une fiction, une telle plante n'existe pas et n'a jamais existé.

Prenons un autre exemple, cette fois dans la vie réelle, parmi les plantes qui ne fructifient qu'une seule fois. L'embryon, en se développant, donnera d'abord naissance à un végétal semblable à celui dont nous venons de parler; mais bientôt des spores adhérentes, se manifesteront sur différents points de la racine et à l'aisselle des feuilles en voie de formation ; en même temps, de nouveaux canaux conducteurs des liquides nourriciers apparaîtront dans l'axe central et donneront à la spore toute facilité pour végéter. Alors racines et tiges primaires et secondaires se développeront simultanément; les secondaires, par leurs spores adhérentes, pourront même donner naissance à des tertiaires, et celles-ci à des quaternaires. Il en résultera une tige et une racine considérablement ramifiées dont la végétation ne s'arrêtera que lorsque les extrémités aériennes seront devenues des fleurs. S'il y a cinquante fleurs, nous aurons cinquante fois plus de graines que dans la plante fictive que nous avons décrite tout à l'heure. Les spores adhérentes, en se développant, auront donc singulièrement multiplié la plante absolument comme chez les thallophytes. Souvent, au lieu d'une spore adhérente, il y en a deux ou trois juxtaposées, pour former autant de racines et de tiges supplémentaires. Notons, en outre, que ces points végétatifs, comme les appellent les botanistes, sont toujours voisins de tubes criblés qui leur apportent une nourriture abondante.

Ce thème peut présenter une foule de variations. Si les premières feuilles prennent un développement considérable, l'ascension de la tige s'en trouve arrêtée ; mais, comme elles fabriquent néanmoins en abondance les matériaux organisables, ceux-ci s'accumulent à titre de réserve sur un point quelconque : dans la racine principale,

comme chez la carotte et la betterave ; dans les feuilles écailleuses de la base, comme chez l'oignon, où leur soudure les transforme en tuniques concentriques ; enfin dans les feuilles végétatives elles-mêmes, comme dans les choux, les aloès et les agaves. Ce travail préparatoire peut durer un an, deux ans, quatre ans et même plus ; puis tout à coup la tige en préparation se développe avec toutes ses ramifications, toutes terminées par des fleurs, et la plante meurt, laissant une postérité considérable due en majeure partie aux spores adhérentes de sa tige.

Ce phénomène de multiplication n'a pas toujours une marche aussi rapide, mais alors son importance n'en est que plus considérable. La première année, il se forme une tige simple, et les spores adhérentes ne produisent à l'aisselle des feuilles que des tiges en miniature auxquelles on a donné le nom de *bourgeon*, et à la base desquelles se sont accumulés des matériaux de réserve qui, au printemps suivant, faciliteront leur végétation ; absolument comme chez l'embryon qui, en quittant la plante mère, emporte des provisions qui suffiront aux premiers besoins. Durant la seconde année, ces tiges secondaires se développent en même temps que des tertiaires se préparent à l'aisselle de leurs feuilles, et ainsi de suite, souvent pendant dix ou quinze ans, sans apparition de tiges florales. Mais alors, sur cent rameaux nouveaux, il y en a huit ou dix qui fructifient pour mourir bientôt. Le développement de l'arbre n'en est pas arrêté ; l'année suivante, de nouvelles spores adhérentes fournissent de nouvelles branches à feuilles et à fruits dans des proportions décuples. La multiplication est ainsi assurée pendant un temps plus ou moins long qui peut aller jusqu'à plusieurs siècles. On voit par là que, sur les plantes vivaces, le phénomène de la multiplication par spores est bien plus important que pour les végétaux à *une seule fructification*, et même que pour les thallophytes.

Il va sans dire que, pendant ce temps, les racines et les canaux conducteurs des liquides nutritifs se multiplient d'une manière proportionnelle. Ces derniers forment tous les ans une couche concentrique autour de la tige et de ses rameaux, ce qui permet d'en constater l'âge en en faisant une section perpendiculaire à l'axe.

Nous sommes donc amenés à considérer une plante phanérogame quelconque, non comme un seul individu, mais comme une accumulation d'individus soudés ensemble et ayant leur racine, leurs vaisseaux et leur appareil végétatif aérien spéciaux. Ces associations se montrent déjà, avons-nous dit, chez les muscinées ramifiées, seulement l'individualité n'appartient chez elles qu'à la branche; la tige principale et ses poils absorbants lui prêtent leur concours sans qu'elle puisse en revendiquer une partie quelconque; aussi la première reste-t-elle toujours grêle. Quant aux thallophytes, ce sont simplement des sociétés de cellules ou de corps protoplasmiques.

Cette manière d'envisager le règne végétal n'a rien d'imaginaire; elle repose sur la réalité des faits. En la prenant pour base, on peut le diviser en trois grandes classes: les plantes *monocellulaires*, les *polycellulaires* et les *polyphytes* (1), ce dernier groupe comprenant tous les végétaux à circulation plus ou moins active. Je sais bien que l'on peut discuter l'existence du premier; beaucoup de botanistes des plus autorisés regardent les cellules isolées comme des fragments de thalles dissociés. Néanmoins leur isolement même, qui persiste indéfiniment et n'entrave pas leur multiplication, prouve que l'association n'est pas indispensable pour elles, et que, tout au moins au début de la vie, il a pu y avoir des plantes monocellulaires, comme il y a encore des animaux qui n'ont qu'un seul

(1) Ρολύ, beaucoup, et φυτόν, plante.

corps protoplasmique et n'en sont pas moins pour cela des individus complets.

Nous verrons plus tard que le règne animal se prête à une division analogue.

Mais revenons à la variété de formes que prennent les végétaux vasculaires sous l'influence de l'adhérence de leurs spores de multiplication. Nous venons de voir que cette sporification est très abondante et de longue durée dans les espèces vivaces de la grande classe des Dicotylédonées, qui sont presque toutes arborescentes. Nous avons vu également que, parmi les individus entés les uns sur les autres, un grand nombre étaient stériles et persistants, et les autres, fertiles et caducs; les premiers sont nourrisseurs à l'aide de leurs feuilles végétatives, et les seconds purement reproducteurs. Si la frondaison de ces derniers se développe d'une manière anormale (fleurs doubles), la stérilité en est la conséquence.

Chez les Monocotylédonées vivaces, les spores aériennes, du moins celles qui devraient donner naissance à des individus nourriciers, paraissent se concentrer dans le point végétatif unique du sommet de la tige. Il n'y a pas alors de ramification; mais les feuilles prennent un développement considérable, et il n'apparaît à leur aisselle que les spores dont le développement produit des tiges reproductrices plus ou moins ramifiées par une sporification secondaire. Ces individus latéraux meurent toujours après la fructification. Quant aux spores des racines, elles se développent toujours isolément, partant de la base de la tige; elles meurent en même temps que les feuilles dont elles ont secondé le développement. Aussi ces feuilles, souvent énormes, peuvent, jusqu'à un certain point, être considérées comme des branches. La famille des *Palmiers* présente toutes ces particularités réunies. Dans quelques espèces, *certaines spores* axillaires donnent naissance à

très serrées; l'absorption et la nutrition se font dans toutes les cellules munies de chlorophylle. Dans les plantes nageantes, qu'elles soient phanérogames ou cryptogames vasculaires, la racine et la tige se réduisent simultanément, et dans le *Lemna arhiza*, ou lentille d'eau, il n'existe plus que des feuilles, véritables thalles flottants, qui néanmoins peuvent être le siège de tous les phénomènes reproducteurs qui caractérisent les Phanérogames. Mais le mode de multiplication qui assure le mieux la propagation de la plante, a lieu par spores adhérentes ; seulement les espèces de lames auxquelles elles donnent naissance, se séparent de bonne heure de leur point d'origine. En un mot, cette phanérogame ne se rattache à son embranchement que par le mode de reproduction.

Il me reste à exposer les causes auxquelles on doit attribuer la direction de la tige et de la racine chez les plantes terrestres. Celle-ci s'enfonce dans le sol et l'autre se dirige vers le ciel, c'est-à-dire dans un sens diamétralement opposé.

Dans le premier cas, l'action de la pesanteur peut certainement être invoquée tout d'abord; cependant, il existe d'autres facteurs dont l'influence ne doit pas être négligée. Il faut citer en première ligne le mode de croissance. Les cellules qui constituent le point végétatif de l'extrémité de la racine principale ou des radicelles, augmentent d'abord de volume, puis se segmentent suivant un plan plus ou moins perpendiculaire à l'axe de l'organe. Ensuite les cellules filles, se développant et se cloisonnant successivement poussent sans cesse vers le centre de la terre les cellules initiales. La progression vers l'intérieur est donc forcée, à moins qu'un obstacle ne vienne la faire dévier. D'autre part, lorsque l'assise pilifère chargée de l'absorption ne rencontre pas de liquide nutritif

la direction primitive, mais seulement latéralement,

tains points où s'accumulent des matériaux nutritifs, comme dans la pomme de terre.

Tout ce que je viens de dire s'applique exactement aux Cryptogames vasculaires avec les variations qui découlent du mode de reproduction sexuée. Ainsi les Fougères de nos pays, dont la tige est souterraine, n'émettent à l'air que des feuilles à la fois végétatives et sporifères. Les espèces arborescentes végètent absolument comme les Palmiers, qui pourraient bien en être issus.

Il me paraît donc bien démontré que toutes les plantes se multiplient par spores, c'est-à-dire à l'aide de corps protoplasmiques différenciés par l'activité plus ou moins grande des combinaisons chimiques qui les ont produits et dont ils continuent à être le siège. Dans le milieu liquide, ces spores se détachent de la plante mère et vont les reproduire au loin; dans le milieu aérien, au contraire, elles restent adhérentes et contribuent, pour une grande part, à la diversité des formes. C'est à l'accès facile du liquide nutritif à travers ses canaux que cette différence doit être attribuée. Dans la reproduction par œuf, la séparation du nouvel être de l'ancien est la règle, quel que soit le milieu.

Une autre source de modification dans la forme des plantes est le changement de milieu. Nous avons vu à quel état chétif sont réduites les algues qui vivent de la seule humidité du sol émergé. Le retour des végétaux terrestres dans le milieu aquatique s'accompagne également de modifications souvent profondes et toujours dans le sens réversif. S'il en est quelques-uns chez lesquels on n'observe aucun changement, il en est d'autres dont le mode de végétation nous reporte à l'embranchement des thallophytes. Ainsi, le *Ceratophyllum* (dicotylédonée) ne possède pas de racines, bien que développant une tige rameuse très étendue, avec des verticilles de feuilles

très serrées; l'absorption et la nutrition se font dans toutes les cellules munies de chlorophylle. Dans les plantes nageantes, qu'elles soient phanérogames ou cryptogames vasculaires, la racine et la tige se réduisent simultanément, et dans le *Lemna arhiza*, ou lentille d'eau, il n'existe plus que des feuilles, véritables thalles flottants, qui néanmoins peuvent être le siège de tous les phénomènes reproducteurs qui caractérisent les Phanérogames. Mais le mode de multiplication qui assure le mieux la propagation de la plante, a lieu par spores adhérentes ; seulement les espèces de lames auxquelles elles donnent naissance, se séparent de bonne heure de leur point d'origine. En un mot, cette phanérogame ne se rattache à son embranchement que par le mode de reproduction.

Il me reste à exposer les causes auxquelles on doit attribuer la direction de la tige et de la racine chez les plantes terrestres. Celle-ci s'enfonce dans le sol et l'autre se dirige vers le ciel, c'est-à-dire dans un sens diamétralement opposé.

Dans le premier cas, l'action de la pesanteur peut certainement être invoquée tout d'abord; cependant, il existe d'autres facteurs dont l'influence ne doit pas être négligée. Il faut citer en première ligne le mode de croissance. Les cellules qui constituent le point végétatif de l'extrémité de la racine principale ou des radicelles, augmentent d'abord de volume, puis se segmentent suivant un plan plus ou moins perpendiculaire à l'axe de l'organe. Ensuite les cellules filles, se développant et se cloisonnant successivement poussent sans cesse vers le centre de la terre les cellules initiales. La progression vers l'intérieur est donc forcée, à moins qu'un obstacle ne vienne la faire dévier. D'autre part, lorsque l'assise pilifère chargée de l'absorption ne rencontre pas de liquide nutritif dans la direction primitive, mais seulement latéralement,

les poils s'inclinent dans ce sens et entraînent tout l'organe avec ses faisceaux vasculaires; alors la croissance ne se fait plus dans le premier sens, bien que l'action de la pesanteur n'ait pas varié.

Autrefois, on attribuait ce mouvement des racines à une espèce d'instinct dont on les gratifiait; mais aujourd'hui il est démontré que ces véritables causes sont les phénomènes physiques d'endosmose et d'exosmose dont les cellules absorbantes sont le siège. Elles laissent suinter un liquide légèrement acide qui facilite la dissolution des carbonates et phosphates alcalins. Le liquide qui les contient, pénètre en abondance dans l'intérieur des poils et les distend tout naturellement dans la direction où il se trouve. C'est ainsi que tout l'organe finit par suivre la veine de terrain qui contient la dissolution nutritive. De nombreuses expérimentations sont venues confirmer cette explication des faits observés.

Dans la plupart des livres classiques français, même les plus savamment rédigés, on attribue l'ascension de la tige aérienne à l'action négative ou mieux répulsive de la pesanteur. J'avoue que cette explication, bien que produite par des hommes sérieux, m'a toujours surpris. Aucun phénomène physique relatif à l'attraction ne vient les corroborer et lui donner ce caractère de légitimité indispensable à toute induction scientifique. Il est vrai que des expérimentations ont démontré que la croissance, qui développe la tige dans un sens opposé à la racine, ne peut être invoquée comme pour cette dernière. Mais il faut en conclure qu'il y a là une action physique dont la nature est difficile à spécifier, et ne pas aller au delà sans preuve sérieuse.

Les expérimentations auxquelles je viens de faire allusion ont été faites sur des graines de Phanérogames en voie de germination : quelle que soit la position donnée à *la jeune tige enterrée*, elle se courbe et reprend sa direc-

très serrées; l'absorption et la nutrition se font dans toutes les cellules munies de chlorophylle. Dans les plantes nageantes, qu'elles soient phanérogames ou cryptogames vasculaires, la racine et la tige se réduisent simultanément, et dans le *Lemna arhiza*, ou lentille d'eau, il n'existe plus que des feuilles, véritables thalles flottants, qui néanmoins peuvent être le siège de tous les phénomènes reproducteurs qui caractérisent les Phanérogames. Mais le mode de multiplication qui assure le mieux la propagation de la plante, a lieu par spores adhérentes ; seulement les espèces de lames auxquelles elles donnent naissance, se séparent de bonne heure de leur point d'origine. En un mot, cette phanérogame ne se rattache à son embranchement que par le mode de reproduction.

Il me reste à exposer les causes auxquelles on doit attribuer la direction de la tige et de la racine chez les plantes terrestres. Celle-ci s'enfonce dans le sol et l'autre se dirige vers le ciel, c'est-à-dire dans un sens diamétralement opposé.

Dans le premier cas, l'action de la pesanteur peut certainement être invoquée tout d'abord; cependant, il existe d'autres facteurs dont l'influence ne doit pas être négligée. Il faut citer en première ligne le mode de croissance. Les cellules qui constituent le point végétatif de l'extrémité de la racine principale ou des radicelles, augmentent d'abord de volume, puis se segmentent suivant un plan plus ou moins perpendiculaire à l'axe de l'organe. Ensuite les cellules filles, se développant et se cloisonnant successivement poussent sans cesse vers le centre de la terre les cellules initiales. La progression vers l'intérieur est donc forcée, à moins qu'un obstacle ne vienne la faire dévier. D'autre part, lorsque l'assise pilifère chargée de l'absorption ne rencontre pas de liquide nutritif dans la direction primitive, mais seulement latéralement,

les poils s'inclinent dans ce sens et entraînent tout l'organe avec ses faisceaux vasculaires; alors la croissance ne se fait plus dans le premier sens, bien que l'action de la pesanteur n'ait pas varié.

Autrefois, on attribuait ce mouvement des racines à une espèce d'instinct dont on les gratifiait; mais aujourd'hui il est démontré que ces véritables causes sont les phénomènes physiques d'endosmose et d'exosmose dont les cellules absorbantes sont le siège. Elles laissent suinter un liquide légèrement acide qui facilite la dissolution des carbonates et phosphates alcalins. Le liquide qui les contient, pénètre en abondance dans l'intérieur des poils et les distend tout naturellement dans la direction où il se trouve. C'est ainsi que tout l'organe finit par suivre la veine de terrain qui contient la dissolution nutritive. De nombreuses expérimentations sont venues confirmer cette explication des faits observés.

Dans la plupart des livres classiques français, même les plus savamment rédigés, on attribue l'ascension de la tige aérienne à l'action négative ou mieux répulsive de la pesanteur. J'avoue que cette explication, bien que produite par des hommes sérieux, m'a toujours surpris. Aucun phénomène physique relatif à l'attraction ne vient les corroborer et lui donner ce caractère de légitimité indispensable à toute induction scientifique. Il est vrai que des expérimentations ont démontré que la croissance, qui développe la tige dans un sens opposé à la racine, ne peut être invoquée comme pour cette dernière. Mais il faut en conclure qu'il y a là une action physique dont la nature est difficile à spécifier, et ne pas aller au delà sans preuve sérieuse.

Les expérimentations auxquelles je viens de faire allusion ont été faites sur des graines de Phanérogames en voie de germination : quelle que soit la position donnée à *la jeune tige enterrée, elle* se courbe et reprend sa direc-

tion normale. Ceci est bien établi. Mais l'embryon, développé dans l'ovaire de la plante mère, est déjà profondément différencié ; la partie destinée à former la tige ne peut en aucun cas devenir la racine. Il y a donc là une prédisposition évidente qui pourrait bien consister dans la présence des éléments chimiques susceptibles de se transformer en chlorophylle sous l'influence des vibrations lumineuses.

D'autre part, l'observation et des expériences nombreuses ont montré que la croissance des tiges aériennes a toujours lieu dans la direction du point d'où la lumière émane ; c'est naturel, puisque, sans elle, il n'y a pas de nutrition possible pour les plantes vertes. On sait également que les vibrations transmises à l'éther ne sont pas limitées à celles du spectre, qu'il en existe en deçà et au delà, bien qu'elles n'impressionnent pas notre rétine. Il s'agirait de savoir si ces vibrations devenues obscures, en pénétrant dans le sol, n'exercent pas néanmoins une action directrice sur la tige. Je m'arrête, n'ayant pas la prétention de résoudre le problème par de simples raisonnements ; j'ai seulement voulu le montrer sous un jour nouveau plus conforme aux données générales de la science.

Quant aux tiges rampantes et souterraines, leur inflexion est due à la faiblesse de l'appareil de soutien de la tige primitive ; les branches, que les spores adhérentes émettent dans ce milieu anormal, s'y adaptent et s'y développent, et cela d'autant plus facilement que le phénomène s'est reproduit dans un plus grand nombre de générations successives.

§ 7. ORIGINE DES DIVISIONS DU RÈGNE VÉGÉTAL.

**Action du milieu ; nombre des espèces souches augmentant à chaque passage d'un embranchement à l'autre; hérédité.
Preuves tirées de la Paléontologie et de l'Embryogénie.**

Tout ce que nous venons de dire sur la morphologie générale des végétaux, ne nous a nullement éclairés sur les causes qui ont amené des différences si variées entre les espèces et groupes d'espèces du règne végétal. Les quatre grands embranchements que nous avons décrits, ont bien pour origine le passage du milieu aquatique au milieu aérien et l'assèchement progressif du sol sur lequel les trois derniers se développent ; mais les individus qui les composent présentent en outre des différences considérables qui ont amené les classificateurs à les diviser en une foule de groupes secondaires. C'est l'origine de ces subdivisions qu'il importe de spécifier.

La nature chimiqne du milieu aquatique duquel tout végétal vert tire les éléments minéraux nécessaires à sa nutrition, influe tout naturellement sur la composition des corps protoplasmiques qui le composent, et consécutivement sur les produits qu'ils sécrètent, tels que la cellulose. Une fois cette modification survenue, si elle est importante, la plante ne peut plus vivre ailleurs à moins d'une nouvelle transformation d'autant plus difficile que le changement aura été plus important et que la transition sera plus brusque. Les algues marines elles-mêmes n'échappent pas à cette influence. Nous avons vu, en effet, dans la partie géologique, que le degré de salure d'une mer intérieure dépend des proportions de l'apport des fleuves et de celles de l'évaporation. De plus, la nature du sol des côtes sur lesquelles vivent les thallophytes marins,

modifie également la nature chimique de la mer. Ainsi les espèces qui se sont transformées au contact d'un rivage calcaire ne peuvent plus vivre là où il est argileux et réciproquement ; de même, pour les algues vivant dans les collections d'eau douce, qui tiennent en dissolution des substances salines en proportions variables suivant la nature du sol sous-jacent et celle du terrain parcouru par les ruisseaux et les rivières qui les alimentent. Encore les mélanges qui peuvent se faire dans des collections liquides de quelque importance, atténuent-ils beaucoup leur action modificatrice sur les plantes immergées. Il n'en est plus de même pour l'eau qui imbibe le sol ; aussi son influence est-elle considérable : les terres calcaires, argileuses et siliceuses ont chacune leur flore spéciale.

Les circonstances météorologiques ont aussi une grande part d'influence. On doit placer en première ligne la distribution plus ou moins régulière des émanations calorifiques et lumineuses du soleil, qui agissent aussi bien dans le milieu aquatique que dans le milieu aérien. Puis viennent, pour les végétaux terrestres, l'état hygrométrique de l'atmosphère et les phénomènes électriques qui s'y manifestent. Citons enfin le voisinage d'autres espèces animales ou végétales ; leur influence, sur laquelle Darwin a tant insisté, est au moins aussi considérable que celle du milieu inorganique.

On comprend donc combien doivent être nombreuses les modifications que des conditions aussi variées entraînent à leur suite. Les espèces n'ont pas d'autre origine. Mais plus les variations remontent haut dans la série généalogique, plus leurs conséquences sont importantes. La variété des algues marines a entraîné celle des algues d'eau douce, laquelle a différencié les Muscinées dès leur apparition. Les formes de celles-ci s'étant multipliées, les *Cryptogames* vasculaires ont de suite présenté des espèces

en nombre proportionnel, et, comme ces dernières s'étaient encore accrues lors du passage aux Phanérogames, il en est résulté, pour cet embranchement, une multitude de types qui furent la souche des milliers de formes plus ou moins distinctes que nous observons aujourd'hui.

J'ai cité plus haut l'exemple des hépatiques, parce que leur thalle est identique au prothalle des Fougères; mais les autres classes des Cryptogames vasculaires ont dû avoir pour origine d'autres Muscinées. On ne peut expliquer autrement les différences de formes que présente dès le début ce grand groupe. La vérité de cette interprétation sera encore plus évidente si nous considérons le passage des Cryptogames vasculaires aux Phanérogames. Ainsi les gigantesques Conifères, qui sont contemporains des grandes Fougères et des grandes Prêles, ne sont certainement pas issus de la même transformation que les Graminées; mais toutes les Graminées et tous les Conifères proviennent de deux mêmes passages.

La diversité des thallophytes incolores s'explique de la même manière. La matière organisée vivante ou morte que digèrent leurs corps protoplasmiques absorbants, variant beaucoup de composition, les formes primitives se sont modifiées dans différents sens, mais sans conséquences ultérieures, puisqu'ils sont restés thallophytes et rien de plus. Quant aux phanérogames sans chlorophylle, ce ne sont que des exceptions accidentelles.

Enfin tous ces caractères spécifiques acquis sont transmis de générations en générations par l'*hérédité* dont, à propos des animaux, nous exposerons le mécanisme, qui est absolument le même dans les deux règnes.

Il est certain que la Paléontologie jette de grandes lumières sur la marche générale de l'évolution; mais tant d'espèces très différentes ont dû être fossilisées simultanément, que ses indications ne peuvent être prises à la

lettre. En ce qui concerne les détails, elle laisse des lacunes immenses, et pour les combler nous sommes réduits à induire du connu à l'inconnu. Peut-être tirerons-nous quelque lumière de l'Embryogénie, lorsqu'elle sera mieux étudiée à ce point de vue spécial.

Il faut bien se rendre compte aussi que toutes les espèces par lesquelles se sont fait les passages, ont disparu sans laisser de trace, précisément parce qu'elles se sont transformées. On peut rencontrer les plus voisines, soit encore vivantes, soit fossilisées ; mais l'espèce souche n'a eu qu'une existence momentanée, pour ainsi dire virtuelle, puisque la modification dont elle a été le siège a entraîné immédiatement la transformation. J'insisterai encore davantage sur ce sujet à propos des animaux. Ainsi, actuellement on peut affirmer que tel embranchement dérive de tel autre, mais rien de plus.

CONCLUSION.

Résumé des transformations du règne végétal et des causes qui les ont produites.

L'évolution du règne végétal que nous venons d'exposer, peut se résumer de la manière suivante :

Dans les eaux marines des temps géologiques primaires, la chlorophylle s'est développée sous l'influence des propriétés des atomes et molécules de certains corps de l'écorce terrestre, aidées des vibrations émises par la photosphère du Soleil. Grâce à la présence de cette matière verte, les mêmes vibrations ont produit les premiers éléments de la matière organisable, que l'affinité a réunis en petits globules gélatiniformes, dont l'attraction a limité le volume. Ces éléments, les mêmes que nous retrouverons chez les animaux, comprennent spéciale-

ment les matières contractile et nerveuse. L'affinité de l'oxygène pour certaines substances qui s'y trouvent mélangées, produisit des combinaisons avec dégagement d'une certaine quantité d'éther qui, se portant sur la substance nerveuse, y développa la nervosité, c'est-à-dire la vie. Celle-ci s'est perpétuée par l'apport continu d'éléments réparateurs fabriqués par la chlorophylle et la lumière, et sur l'action sans cesse renouvelée de l'oxygène. Mais en même temps le globule s'accrut, et l'attraction, impuissante à en maintenir tous les éléments en une seule masse, la divisa en deux parties égales par le développement de deux centres de gravitation.

Cette formation des premiers globules végétaux ne paraît pas s'être renouvelée depuis, et le fractionnement dont nous venons de parler, a suffi pour les multiplier à l'infini depuis leur apparition jusqu'à ce jour. S'ils sont nus, ils se comportent absolument comme les animaux dont nous parlerons bientôt. Mais, le plus souvent, ils sont entourés d'une couche de cellulose que la nervosité leur fait sécréter autour d'eux, et ils deviennent alors de véritables cellules toujours munies de chlorophylle.

L'affinité de ces cellules les unes pour les autres forma bientôt des groupes plus ou moins nombreux qui constituèrent les *thallophytes marins*. Puis, le mouvement nutritif ayant différencié certains de leurs éléments, ceux-ci se détachèrent de l'ensemble, soit isolément, soit après s'être fusionnés par couple en un œuf, et reproduisirent au loin la plante mère, en se multipliant toujours par segmentation.

Ces thallophytes, en se propageant ainsi, rencontrèrent, dans leurs pérégrinations, de nouvelles conditions de milieu, qui modifièrent dans de certaines limites la composition de leurs corps protoplasmiques et donnèrent naissance *à de nombreuses* espèces ou variétés.

Lors de la formation des premières collections d'eau douce, les spores et les œufs de certaines algues marines s'y développèrent et revêtirent, sous l'influence du nouveau milieu, des formes relativement plus simples.

Ensuite le soulèvement des continents, en transformant les lacs et étangs en marécages, fit subir de nouvelles modifications aux algues qui les peuplaient. Les unes, perdant leur chlorophylle, puisèrent leur nourriture dans les débris de celles que le dessèchement avait fait périr; la suite de l'évolution du règne végétal leur fournit ensuite de nouveaux cadavres à dévorer; plus tard, enfin, elles pénétrèrent dans les plantes vivantes, les dépouillant plus ou moins complètement des substances organisables qu'elles fabriquaient pour elles-mêmes. Ainsi se constitua la grande classe des *Champignons*.

D'autres algues vertes, profondément dégradées par leur nouvel habitat, revinrent à la forme monocellulaire pour vivre misérablement dans les endroits humides, ou au milieu des filaments de certains champignons qui leur offrirent un abri en échange des produits du travail de leur chlorophylle : ainsi se formèrent les *Lichens*. Parmi ces types inférieurs, il en est quelques-uns qui pénétrèrent dans les organismes animaux et, après avoir perdu leur chlorophylle, devinrent ces parasites redoutables auxquels, de nos jours, on a donné la dénomination impropre de *Microbes*.

Un troisième groupe d'algues d'eau douce, plus résistantes que les autres, donnèrent naissance, sous l'influence du milieu aérien, à l'embranchement des *Muscinées* par la simple différenciation de quelques cellules de leur thalle, lesquelles se mirent à se segmenter dans le sens de la perpendiculaire.

Jusqu'ici les cellules agglomérées du végétal avaient *vécu pour* leur propre compte, échangeant par osmose

seulement quelques produits avec leurs voisines. Chez les Muscinées, la division du travail commence à apparaître. Les groupes cellulaires en contact avec le sol peuvent seuls absorber par endosmose la solution saline nécessaire à la vie. Cette absorption, activée par l'évaporation qui a lieu à la surface de la plante, donne aux cellules qui en sont le siège la forme de poils allongés, et le liquide abondant qu'elles puisent, aspiré vers les parties supérieures, finit par détruire le protoplasme des cellules qu'il traverse. En même temps, les spores agames restent adhérentes, ou tout au moins ne se détachent qu'après avoir végété quelque temps. La plante se ramifie donc par apparition de nouveaux individus. Quant à l'ovulation, elle se fait comme chez les algues, et l'œuf se fractionne en spores qui se disséminent.

Cependant, le dessèchement des terrains émergés s'accentue de plus en plus ; le vent active l'évaporation sur la face supérieure du thalle couché de quelques Muscinées inférieures, et le phénomène de l'ovulation se porte sur la partie en contact avec le sol et, partant, plus à l'abri. Dans ces nouvelles conditions, l'œuf ne peut plus se disséminer en spores ; il s'organise et donne naissance à un individu chez lequel la division du travail s'accentue davantage. L'ascension du liquide nutritif, accélérée par une évaporation plus active, détruit non seulement le protoplasme des cellules qu'il traverse, mais même les cloisons qui les séparent, et les transforme en tubes. D'autre part, le travail chlorophyllien, singulièrement facilité par cet afflux, produit une surabondance de matière organisable qui, en sens contraire de la sève, poussée de cellules en cellules, en absorbe le corps protoplasmique, crible leurs cloisons de petits trous, et, arrivée à la base de la tige, détermine un point végétatif dont les productions cellulaires s'enfoncent dans le sol, en multipliant le nombre des poils absor-

bants. Sous l'influence de la formation des racines, la partie aérienne du végétal va pouvoir atteindre une grande hauteur ; les premiers arbres vont apparaître. Sur les feuilles de la nouvelle plante naissent des spores, qui tombent sur le sol et y attendent la saison humide pour reproduire d'abord l'algue originelle, puis la muscinée sur laquelle l'ovulation s'opère ; la reproduction est ainsi assurée. Quant aux spores de multiplication, elles restent désormais adhérentes et donnent naissance à des individus surajoutés qui se comportent de la même manière que leur support. Telle est l'origine des *Cryptogames vasculaires*.

Bientôt, le terrain devenant de plus en plus sec et la circulation plus active par suite de l'évaporation rapide, les spores de reproduction ne se détachent plus des feuilles; elles y végètent, reproduisant en raccourci l'algue et la muscinée ; l'œuf s'y développe également et l'embryon ne tombe qu'avec une enveloppe protectrice et une provision de matières nutritives destinées à subvenir à ses premiers besoins.

Comme conséquence de cette modification, les feuilles sporifères et leurs voisines diminuent de volume, changent d'aspect et, en se rapprochant les unes des autres, forment ce que nous avons appelé une *fleur*. Le lieu où se fait la fécondation de l'œuf, étant facile à distinguer, on a donné au nouveau groupe le nom de *Phanérogames*. Dans cet embranchement, les spores de multiplication, toujours adhérentes, sont très nombreuses, si bien que le végétal est en réalité une véritable colonie d'individus semblables, quoique d'âges différents, les uns fertiles, les autres stériles, et ayant chacun leur racine et leurs canaux conducteurs des liquides nutritifs élaborés ou non.

Ainsi le dessèchement progressif des continents, qui d'abord avait semblé devoir faire disparaître toute trace végétation, est au contraire devenu le point de départ

des productions végétales les plus nombreuses et les plus variées, et la seule cause de ce résultat inattendu a été l'évaporation de l'eau à la surface aérienne des plantes. Du moment que leurs poils absorbants sont immergés, plus cette évaporation est active, mieux le développement se produit.

En résumé, aux végétaux *monocellulaires* ont succédé les thallophytes *polycellulaires* et de ceux-ci sont successivement issues les Muscinées, les Cryptogames vasculaires et les Phanérogames qui sont toutes *polyphytes*. Les individus de ces trois derniers embranchements reproduisent, dans la première partie de leur développement, toutes les phases de l'évolution de leur type. Nous verrons bientôt que les animaux se prêtent à un classement analogue, et résument aussi, dans leur vie embryonnaire, les transformations successives, dont les groupes auxquels ils appartiennent sont le résultat.

La vie végétale, depuis son apparition, n'a jamais été interrompue, et le corps protoplasmique de n'importe quelle cellule vivante procède, par une longue suite de générations, d'un des premiers corps protoplasmiques formés par la chlorophylle, à laquelle ont donné naissance les réactions chimiques des temps géologiques primaires.

Cette évolution du règne végétal, si simple et cependant si peu étudiée, a sans doute eu lieu simultanément ou successivement sur bien des points de la surface terrestre ; mais partout elle n'a eu d'autre cause que les propriétés des atomes et molécules de la matière et les phénomènes physiques et chimiques qui en sont la conséquence. Il en a été de même pour toutes les variétés que chaque stade a successivement produites.

TROISIÈME SECTION. — LES ANIMAUX.

Pour l'intelligence de ce qui va suivre, il est indispensable d'avoir présents à l'esprit certains points importants de la marche évolutive des végétaux.

Tous les corps protoplasmiques de même nature, nus ou enveloppés d'une membrane de cellulose, sont poussés, par une affinité réciproque, à s'agglomérer en groupes d'une étendue plus ou moins considérable, qui varient suivant la composition chimique des individus qui les constituent.

Parmi ces derniers, quelques-uns se différencient pour reproduire le groupe soit isolément, soit après s'être fusionnés deux par deux. Chez les Thallophytes, tous se détachent de la colonie et se disséminent pour chercher dans le milieu liquide ambiant une nourriture plus abondante que celle qu'ils pouvaient absorber lors de leur enclavement au milieu de la colonie. Dans les plantes terrestres, la facilité avec laquelle les liquides nutritifs se répandent à travers des séries de cellules plus ou moins bien canalisées, maintient les spores agames au contact du groupe auquel elles appartiennent, et permet même aux œufs de s'y développer en embryon, comme il arrive dans le prothalle des Cryptogames vasculaires et dans l'ovaire des Phanérogames. La dissémination n'est assurée alors que par l'ovulation.

Nous avons vu, d'autre part, par l'exemple des Champignons, combien les corps protoplasmiques sans chlorophylle se modifient facilement sous l'influence d'un changement dans la nature de la matière organique qui leur sert de nourriture. La même espèce varie de forme non seulement suivant la plante qu'elle habite, mais même suivant la saison de l'année. Le protoplasme incolore est susceptible de modifications infinies. Nous ne serons donc

pas surpris de voir que les grands embranchements du règne animal se sont formés dans le milieu marin. Le passage des individus sur les continents desséchés, tout en modifiant leur organisation, n'a produit que des groupes secondaires, car leur régime alimentaire et leur mode de nutrition n'ont eu à subir aucune modification fondamentale.

Le point de départ des êtres organisés dont nous allons exposer l'histoire, est la Monère incolore, qui, comme nous l'avons vu plus haut, n'est qu'un corps protoplasmique végétal privé de sa chlorophylle. On a voulu rapprocher de cette Monère les cellules des Champignons myxomycètes, qui, pendant leur vie végétative, se meuvent et se nourrissent de la même manière, et induire de cette similitude de mœurs une espèce de filiation entre les deux êtres. Émettre une semblable opinion, c'est faire bon marché des notions de temps et de lieu. La Monère primitive avait déjà accompli dans la mer la plus grande partie de ses phases évolutives, lorsque les Champignons se montrèrent sur les parties humides et sombres des continents émergés, et rien n'autorise à admettre que les Myxomycètes aient apparu les premiers. De plus, le défaut de chlorophylle et l'absence d'enveloppe de cellulose sont des faits qui n'ont de valeur que par leur persistance, comme il arrive dans le règne animal, tandis que, chez les végétaux, ce sont des accidents propres à quelques espèces, ou qui s'observent seulement durant une courte période de leur existence. D'ailleurs, tout démontre que les Champignons sont bien des végétaux et des plus compliqués.

Je ferai la même observation au sujet de l'identité que l'on a prétendu établir entre les zoospores et les Infusoires flagellifères dont nous parlerons tout à l'heure; les premiers sont des corps reproducteurs qui revêtent transitoirement une forme spéciale, tandis que les autres sont des *espèces bien définies*, ne subissant aucune transformation

dans le cours de leur existence. Du reste, ces points de contact entre les deux règnes, tout en montrant leur communauté d'origine, n'infirment en rien les preuves que nous avons données de l'antériorité du règne végétal.

§ 1. ANIMAUX MONOCELLULAIRES.

Monères ; Amibes ; Foraminifères ; Radiolaires ; Infusoires flagellifères et ciliés.

Comme nous l'avons dit plus haut, les animaux se prêtent à une division analogue à celle que nous avons indiquée pour les végétaux. Les uns sont *monocellulaires*, d'autres *polycellulaires*, enfin un troisième groupe comprend des agrégations d'individus du deuxième. Nous lui donnerons l'épithète de *polyzoïque* par analogie, avec celle de *polyphyte*. Mais l'importance respective de ces groupes est loin d'être la même que dans le règne végétal. Les monocellulaires sont ici très nombreux et très variés, tandis que les polycellulaires, comparables aux thallophytes, sont d'une rareté extrême. Les polyzoïques, au contraire, égalent et surpassent même en nombre les polyphytes.

La *Monère*, telle que nous l'observons aujourd'hui, est une petite masse protoplasmique atteignant au maximum un millimètre de diamètre ; son homogénéité la rapproche du corps cellulaire des Algues bleues. Cependant la substance contractile paraît occuper la surface externe, de laquelle sortent un certain nombre de filaments mobiles, qui saisissent au passage la matière organique, morte ou vivante, pour la ramener dans l'intérieur du protoplasme, d'où les parties non assimilables sont ensuite expulsées. C'est surtout dans le liquide marin que les Monères ont été observées ; elles rampent soit sur le sol, soit sur les algues ou d'autres corps immergés. Bien que leur dé-

couverte ne date que de 1864, on en compte déjà plusieurs espèces caractérisées par le volume et les mœurs. Généralement elles se multiplient par fissiparité comme les cellules végétales. Cependant les plus volumineuses s'enkystent à un moment donné dans une membrane amorphe d'où s'échappent, au bout de quelque temps, de petits individus ayant l'apparence de larmes qui prennent bientôt la forme habituelle et augmentent rapidement de volume si l'alimentation est abondante ; ce sont de véritables spores. Quelques espèces vivent en société en s'accolant les unes aux autres d'une manière plus ou moins intime, tout en conservant la faculté de s'isoler. Le fameux *Bathybius* (1), cette masse gélatineuse que l'on a trouvée étalée dans le fond de certaines mers, pourrait bien être une vaste colonie de Monères, et non, comme on l'avait supposé d'abord, une pièce d'étoffe de matière vivante, de laquelle se seraient détachés tous les êtres organisés. Mais la nature organique de cette substance est fortement contestée ; la plupart des biologistes pensent que c'est simplement un corps minéral à l'état gélatineux, tel que la silice ou le sulfate de chaux.

Les *Amibes* sont des Monères d'une organisation plus complexe ; ils possèdent un *noyau* de protoplasme condensé, comme toutes les cellules des végétaux autres que les Algues bleues. Il en part quelquefois de petits filaments déliés qui se rendent à la superficie, toujours occupée par la substance contractile. On suppose que c'est autour du noyau que se concentre la matière nerveuse. C'est ce noyau qui donne le signal de la division de l'Amibe, et chacune de ses moitiés entraîne avec elle une partie du protoplasme. Cette *caryokinèse* (2), qui a été étudiée dans ses moindres détails sur d'autres cellules végétales et animales, se produit

(1) Βαθύς, profond, et βίος, vie.

(2) *Κάρυον, noyau; κίνησις*, mouvement.

dans des conditions telles, que le partage est aussi exact que possible, et l'identité des deux fragments, absolument complète. Au point de vue de l'hérédité, ce détail a une importance capitale.

On a observé, en outre, qu'après un certain nombre de reproductions par simple division, deux Amibes, ayant perdu leur pouvoir prolifique, s'unissent noyau à noyau, protoplasme à protoplasme, et forment un nouvel individu qui se met à proliférer, comme s'il avait subi une espèce de rénovation. C'est la reproduction sexuée sous sa forme la plus simple.

Certaines Monères, formant un groupe important, s'entourent d'une espèce de coquille calcaire percée de trous plus ou moins nombreux, par lesquels l'animal peut émettre ses pseudopodes ; ce sont les *Foraminifères*. Les *Radiolaires* sont d'autres Monères entourées d'une espèce de treillis en silice, de dessin très varié, et hérissé de fines aiguilles qui fournissent à la cellule un moyen de défense relativement sérieux, et entre lesquelles ses expansions contractiles peuvent se mouvoir en toute sécurité.

Quand les circonstances de milieu sont favorables, ces petits êtres se multiplient en si grande abondance que leurs tests accumulés forment des couches géologiques d'une grande épaisseur, comme nous l'avons vu à propos de la craie.

On comprend que les terrains de sédiment, les plus anciennement formés, n'aient conservé aucune trace des Monères et des Amibes qui ont dû s'y développer ; il n'en a pas été de même des espèces pourvues d'une carapace calcaire ou siliceuse. Les plus anciens Foraminifères connus ont été découverts dans le calcaire carbonifère, et on a pu constater que leurs formes s'étaient peu modifiées depuis. Il en a été de même des Radiolaires qui n'apparaissent que dans le trias, c'est-à-dire à la base des terrains secondaires.

Ces formations organiques de nature minérale, que nous observerons souvent dans la suite de cette étude, ne sont pas de simples dépôts opérés par le milieu ambiant; elles sont le résultat de réactions chimiques excitées par la nervosité aux dépens des sels dissous dans le liquide qui imbibe le protoplasme. Certaines algues, même des plus inférieures, en offrent des exemples remarquables dont l'origine est la même. On en rencontre aussi dans l'intérieur des cellules des végétaux terrestres; mais alors leur forme cristalline indique que la vie y est étrangère. Les feuilles des Graminées doivent leurs propriétés tranchantes à la silice, qui existe en abondance dans l'enveloppe de leurs cellules épidermiques.

En suivant les progrès de l'organisation des animaux monocellulaires, nous arrivons aux *Infusoires,* dont l'amibe paraît être l'ancêtre, comme nous le verrons plus loin en parlant des Éponges. Les plus inférieurs, analogues aux zoospores, se meuvent dans l'eau, en agitant un ou deux longs cils situés à l'une de leurs extrémités, d'où leur nom de *Flagellifères.* Ils sont entourés d'une membrane très fine qui, quelquefois, se prolonge, du côté opposé au flagellum, en un long filament creux, à l'aide duquel certaines espèces se groupent en forme de bouquets, et qui sert de gaine à un fil de substance contractile qui, malgré leur fixation, leur permet d'éviter les contacts dangereux.

Les *Infusoires ciliés* dont la surface est couverte, sur une étendue variable, de petits appendices mobiles à volonté, sont les plus parfaits des monocellulaires. Quand on les examine dans une goutte de liquide à l'aide du microscope, on est frappé de la délicatesse de toutes leurs parties, de leur activité, et, je puis dire, de leur intelligence. Leur membrane d'enveloppe est percée de deux orifices : l'un buccal et l'autre anal. Ils vont, viennent, s'arrêtent, choisissent *leur nourriture,* en un mot se comportent comme

des animaux supérieurs. Cependant ce sont de simples cellules qui se multiplient par division, comme l'Amibe.

Quelquefois, comme nous l'avons vu pour ce dernier, deux individus se rapprochent et semblent se fusionner; mais cette espèce de copulation n'est que momentanée. Pendant qu'elle a lieu, les noyaux se divisent ; la moitié de l'un s'unit à la moitié de l'autre et réciproquement. Ce mode de fécondation, jusqu'ici exceptionnelle, a été signalé par M. Balbiani, du collège de France. Il sera sans doute l'objet de recherches plus étendues.

Pas plus que les Foraminifères et les Radiolaires, les Infusoires n'ont été le point de départ de formations ultérieures. En effet, chaque fois que nous verrons des espèces prendre des caractères tranchés, nous pourrons être sûrs que bientôt elles s'arrêteront dans leur évolution, et formeront l'extrémité d'un rameau de l'arbre généalogique. Si le milieu reste à peu près identique, elles persistent dans leur forme; sinon elles se dégradent ou disparaissent; c'est cette dernière solution qui est la plus fréquente, l'autre est tout à fait exceptionnelle. Ainsi les Monères ont donné naissance aux Foraminifères et Radiolaires restés tels, et les Amibes, aux Infusoires qui n'ont pas été au delà de la forme ciliée.

§ 2. ANIMAUX POLYCELLULAIRES.

Magosphera ; Éponges.

Ce groupe, comme nous l'avons dit, est très peu nombreux ; il ne contient guère que deux formes, encore doit-on faire des restrictions pour la seconde, celle des Spongiaires.

La première, qui comprend le genre *Magosphera*, découvert par Hæckel, en 1869, est composée de trente-deux

cellules flagellifères de formes pyramidales, qui, accolées ensemble, forment une sphère hérissée de flagellums qui lui permettent de se mouvoir et de se nourrir. A un moment donné, les éléments se séparent, prennent la forme amibe, puis, après une période de croissance, s'enkystent chacun de leur côté, et reproduisent, par segmentation, l'individu primitif, qui se trouve ainsi multiplié par trente-deux.

Les Éponges sont également composées de cellules flagellifères, mais cette fois avec le concours des amibes. En suivant le développement de ces êtres bizarres, nous allons comprendre leur origine. Une cellule se détache de la masse sous forme d'amibe et se nourrit pendant un certain temps ; puis, par une série de segmentations analogues à celle de la *Magosphera*, elle forme une sphère creuse, moitié amibe, moitié flagellifère. Cette dernière partie s'invagine dans la seconde et forme bientôt une nouvelle sphère creuse à deux feuillets, présentant une ouverture et tapissée de cellules à flagellum qui nourrissent la colonie. Les amibes extérieurs, alimentés par elles, sécrètent des spicules cornés, calcaires ou siliceux, qui donnent de la solidité à l'ensemble. L'un d'eux bientôt se différencie, et, comme une spore adhérente, donne sur place naissance à un individu semblable au premier, et ainsi de suite, de manière à produire ces formes si diverses que prennent les éponges. Ces sphères creuses agglomérées se percent d'un orifice opposé au premier, et c'est par tous les *pores* extérieurs que l'eau, attirée par le mouvement des flagellums, pénètre dans les cavités, passe de là dans des canaux communs, et sort par des ouvertures plus larges appelées *oscules*. Ces canaux et oscules sont pratiqués dans l'intervalle des sphères creuses auxquelles on donne le nom de *corbeilles vibratiles*. Quant au courant liquide, il amène les *matières nutritives qui* se trouvent arrêtées au passage.

La cellule amibe qui se détache pour reproduire l'ensemble, est-elle une simple spore ou bien un œuf fécondé par une cellule à flagellum également détachée? On n'a pas encore pu le spécifier.

La première éponge a donné naissance à un certain nombre de variétés caractérisées uniquement par la matière qui compose les spicules ou petites épines, et par leur disposition.

Le volume et la solidité des Éponges à squelette calcaire ou siliceux ont permis leur conservation dans les dépôts géologiques. Le silurien inférieur a montré les premiers exemplaires de la seconde espèce. Tous les niveaux qui, depuis, se sont succédé jusqu'à nos jours, en contiennent souvent en très grande abondance sur certains points. Il est à remarquer que, dans les mers actuelles, les Spongiaires à spicules solides sont devenus extrêmement rares; presque tous sont purement cornés. On croirait que leurs eaux contiennent en moindre quantité les éléments minéralisateurs nécessaires à la solidification de leur squelette. Déjà les Foraminifères de l'époque houillère nous avaient prouvé l'ancienneté des animaux monocellulaires; mais la présence, dans le silurien inférieur, des Éponges qui en dérivent, établit d'une manière irréfutable que nous sommes dans la vérité, lorsque nous les regardons comme les véritables *protozoaires*, qui, grâce à leur simplicité et à la frugalité de leur régime, ont pu se perpétuer jusqu'à nous. Les bases de la doctrine transformiste sont donc parfaitement solides et ne permettent pas de la considérer comme une simple vue de l'esprit.

Quoi qu'il en soit, le rôle des Flagellifères, comme cellules composantes, est définitivement terminé. Les Spongiaires, comme les Infusoires ciliés, les Radiolaires et les Foraminifères, sont de véritables impasses; nous n'aurons plus à nous en occuper. Il ne nous reste que l'amibe, ou

monère à noyau, comme élément primordial de tous les êtres dont nous allons suivre le développement.

§ 3. ANIMAUX POLYZOÏQUES A ÉLÉMENTS COLLATÉRAUX.

Formation de l'individu type. — Polypes simples et composés. Bryozoaires. — Échinodermes.

Nous venons de voir que déjà, chez les Spongiaires, des spores ou amibes non détachés donnaient naissance à des individus qui demeurent unis à l'organisme primitif. Si, malgré ce polyzoïsme évident, nous les avons classés parmi les individus polycellulaires simples, c'est que leurs caractères aberrants ne permettent pas de les faire rentrer dans l'un des deux grands embranchements dont nous allons parler. Il est tout d'abord nécessaire d'exposer comment a dû se former l'individu type, qui a constitué l'unité intégrante des animaux polyzoïques.

Dans certaines conditions de nutrition, les résultats de la segmentation d'un amibe, au lieu de se séparer, formèrent une boule analogue à la *Magosphera* (c'est la *morula* (1) de Hæckel); puis les éléments, en se multipliant, donnèrent naissance à une sphère creuse (*spherula*) qui elle-même devint une *gastrula* (2) par l'invagination d'une de ses moitiés dans l'autre. La comparaison classique du bonnet de coton rend bien compte de ce dernier phénomène, que nous avons déjà observé dans l'évolution embryonnaire de l'éponge.

Mais, dira-t-on, cette hypothèse, malgré sa vraisemblance, ne peut vous permettre d'affirmer que ces trois stades ont, à un moment donné, formé des individus particuliers; pour cela il faudrait nous en montrer encore.

(1) Petite mûre.
(2) *Petit estomac.*

Telle est la grande objection que répètent à satiété les adversaires du transformisme. Il est nécessaire de s'y arrêter pour la réfuter d'une manière définitive.

L'amibe, qui est la forme initiale de tous les animaux dont nous allons parler, existe encore à l'état d'individu isolé; ce point est indiscutable. La forme morula sans flagellum a disparu, sans doute parce que toutes celles qui existaient se sont transformées en sphères creuses; mais sa possibilité est démontrée par la *Magosphera*. De même pour la spherula, qui, par le peu de solidité de sa construction, a dû facilement devenir gastrula. Quant à cette dernière, nous ne pouvons l'observer dans son état de simplicité primitive puisqu'elle a pris les différentes formes que nous allons indiquer tout à l'heure.

On ne peut plus rencontrer ces individus ancestraux à l'état isolé, pas plus qu'il ne peut exister une muscinée de la famille des Hépatiques, dont l'ovulation ait lieu sur la face du thalle en rapport avec le sol, puisque cette modification a rendu indispensable l'apparition des Cryptogames vasculaires. Il en est de même de celles de ces dernières qui ont donné naissance aux Phanérogames. Toute espèce qui se transforme disparaît par le fait même de sa transformation ; la paléontologie elle-même ne peut nous montrer que la forme qui l'a précédée.

En outre, un être organisé quelconque, actuellement existant, ne peut arriver à l'état adulte sans passer par toutes les phases parcourues par l'évolution de son espèce. C'est ainsi que le prothalle de toute Cryptogame vasculaire nous représente, à chaque génération, la muscinée dont elle est issue, précédée elle-même d'une algue filiforme née d'une seule cellule. Or, tous les animaux dont il nous reste à parler, l'homme compris, commencent leur développement par un amibe, qui, par une segmentation successive, donne naissance à une morula, puis

à une spherula et enfin à une gastrula; nous sommes donc amenés forcément à induire que cette évolution individuelle, ou *ontogénie*, représente exactement l'évolution de sa race, ou *phylogénie*, et que par conséquent les trois formes en question ont existé.

Les deux premières n'ont sans doute été que transitoires, puisqu'elles n'ont été le point de départ direct d'aucune espèce actuelle ou dont les débris nous aient été conservés. Il n'en a peut-être pas été de même de la gastrula, puisqu'elle a donné naissance à plusieurs groupes qui ne peuvent vraisemblablement procéder les uns des autres. Du reste, sa conformation lui assurait une alimentation plus facile, en permettant aux pseudopodes d'introduire dans cette poche les matières alimentaires passant à leur portée, et de les digérer à loisir.

Les causes de ces dispositions successives des éléments cellulaires sont des plus simples. En première ligne se place l'affinité qui les réunit, et comme elle est égale entre tous, ils se disposent en sphère. Celle-ci, d'abord pleine tant que les cellules ont été peu nombreuses, se creuse d'une cavité au fur et à mesure de leur multiplication, chacune d'elles étant attirée vers le milieu extérieur par le besoin d'oxygène et de nourriture. Lorsque cette sphère peu solide, formée d'une seule assise de cellules, atteint un certain volume, l'affinité peut les rapprocher par leur face intérieure, et l'invagination qui en résulte donne naissance à une demi-sphère creuse à paroi double et dont l'ouverture tend sans cesse à se rétrécir, par suite de l'augmentation continuelle du nombre des éléments de chaque couche.

POLYPES.

Parmi les groupes d'animaux qui sont issus de la *gastrula primitive, il en est* dont la filiation est indéniable;

puisqu'ils en conservent la forme plus ou moins modifiée. C'est la grande classe des *Polypes*. En voici la description générale.

La gastrula est plus ou moins allongée ; la partie opposée à la bouche sert à la fixation de l'animal. La couche de cellules internes accumule en elle les substances nécessaires à la digestion, et les déverse dans la cavité, pour absorber ensuite la dissolution des substances alimentaires ingérées par la bouche. Cet échange osmotique a lieu au travers de la fine membrane qui les enveloppe ; le même phénomène physique transmet la solution alimentaire à tout le reste du système. La couche externe, de son côté, exécute des échanges avec le milieu ambiant, tant pour l'absorption de l'oxygène que pour l'expulsion de l'acide carbonique et des autres produits de la combustion respiratoire. De plus, grâce à certaines cellules qui ont accaparé plus ou moins la substance nerveuse de leurs voisines, elle devient l'organe de la sensibilité. Celle-ci s'exerce spécialement à l'aide d'appendices disposés autour de la bouche, qui les a produits par prolifération. Enfin, entre l'ectoderme et l'endoderme, la substance contractile s'est isolée sous forme de petits corps allongés, enveloppés d'une mince couche de protoplasme qui les nourrit ; ils sont nombreux surtout dans les tentacules qui leur forment une espèce de gaine de cellules ectodermiques. Ces petites fibres musculaires embryonnaires reçoivent des cellules nerveuses un filet de leur propre substance, qui transmet à chacune un courant de nervosité, et l'éther qui se dégage facilite la combinaison de l'oxygène, qu'elles contiennent, avec les hydrates de carbone, dont la solution les imbibe. La chaleur ou l'éther qui les pénètre, les raccourcit, et le mouvement a lieu, sous l'influence d'un contact.

Les tentacules saisissent au passage la proie vivante ou

morte, en s'enroulant autour d'elle, et l'introduisent dans la bouche de la gastrula, qui s'ouvre pour la recevoir. Cette bouche expulse également les résidus de la digestion, et sert par conséquent d'anus.

J'insiste sur ces détails, parce qu'ils nous montrent le commencement de la division du travail qui caractérise les animaux qui nous occupent. C'est le commencement de l'*organisation* que nous verrons se développer graduellement jusqu'à l'Homme, où elle atteint sa plus grande perfection.

Mais l'animal ne reste pas tel que nous venons de le décrire, et le polyzoïsme va se manifester comme conséquence de la reproduction. Celle-ci se fait comme celle des végétaux aériens, par spores adhérentes et par spores sexuées. A un moment donné, une cellule de l'ectoderme, reprenant par la nutrition toutes les qualités de l'amibe initial, se segmente et reproduit l'animal complet, qui reste adhérent comme une branche d'arbre, ou se détache lorsqu'il peut se suffire à lui-même, car, pendant toute la durée de son développement, il a été nourri par la plante mère, si je puis m'exprimer ainsi. Quelques-uns de ces polypes secondaires paraissent avorter; mais, dans la poche incomplète qu'ils forment, se développent alors soit des spores femelles ou ovules, soit des spores mâles ou spermatozoïdes, et, de l'union de ces éléments, naît un œuf qui se détache ultérieurement. Le polype donne donc, comme nos arbres, des branches stériles et des branches fertiles.

Cette ramification n'a pas toujours lieu sur le ventre de l'animal. Dans certaines espèces, l'extrémité adhérente prolifère; des cellules nouvelles s'étalent sur le sol, dans les anfractuosités duquel elles s'implantent, et c'est sur cette surface que les spores adhérentes se développent. Alors la colonie, ainsi formée, se compose d'individus nourriciers et d'*individus reproducteurs*. Il en est même, parmi

les premiers, dont la gastrula s'oblitère complètement; leur rôle alors devient purement tactile. D'autres enfin avortent complètement, et leur enveloppe cornée en fait de simples épines, qui bordent la plaque végétative et en défendent l'accès. Cet avortement est dû à l'éloignement du centre de nutrition.

Nous avons vu que les arbres épineux sont formés d'un groupement semblable. Il ne leur manque que les individus tactiles; encore les vrilles de la vigne peuvent-elles en être rapprochées.

Ces colonies, où le travail se trouve réparti entre plusieurs individus réunis par un lien commun, se modifient de mille manières. Souvent elles se rapprochent et arrivent même à être tellement compactes qu'on a peine à distinguer leurs parties constituantes.

Dans les Anémones de mer, aux couleurs si variées et si délicates, les polypes tactiles et reproducteurs sont groupés tout autour de l'individu nourricier dépourvu de tentacules; leurs cavités se fusionnent en une seule, sous la gastrula centrale, qui communique avec elle, et lui transmet les produits de sa digestion, qui profitent ainsi à l'ensemble. Quant aux aliments, ils sont introduits dans l'orifice unique par les individus tactiles disposés à l'entour en forme de couronne.

Dans ces individualités complexes, la différenciation des éléments cellulaires est poussée très loin. Les parois de la poche stomacale présentent sous l'ectoderme une véritable couche de cellules purement nerveuses, qui envoient des filets sensitifs aux tentacules et des filets moteurs à plusieurs groupes de cellules contractiles disposées en véritables muscles. Les uns, circulaires, ferment l'orifice buccal, d'autres, disposés longitudinalement le long des parois de l'animal, font rentrer les tentacules dans la cavité générale, etc. Enfin, l'endoderme, s'enfonçant sur certains

points dans la paroi de l'estomac, forme des glandes gastriques dont les produits excrétés contribuent à la digestion.

Dans les colonies dissociées, la masse cellulaire stratifiée peut sécréter une matière calcaire dans laquelle les individus divers se creusent des loges où ils se cachent en cas de danger. Cette production d'une espèce de squelette commun n'a pas empêché la fusion dont nous venons de parler; dans plusieurs espèces, en effet, on la voit progresser graduellement de manière à former de véritables Anémones isolées ou groupées sur le même substratum à base calcaire, comme les Madrépores nous en offrent de si beaux exemples. Dans ces espèces, les loges du squelette se fusionnent en même temps que les individus qu'elles contiennent; si bien qu'après la mort de ces animaux et la disparition de leurs parties molles, on peut encore reconnaître l'espèce à laquelle ils appartenaient.

Il n'en est pas de même pour les Coraux; la substance calcaire y sert seulement de support, et les individus combinés ne trouvent de refuge que dans la couche de cellules génératrices. Celle du Corail rouge est creusée de canaux qui font communiquer les polypes entre eux et amènent ainsi une nutrition uniforme dans toute la colonie. Cette particularité se rencontre aussi ailleurs.

Les spores sexuées, chez tous ces individus fusionnés, dont les polypes reproducteurs font partie, naissent dans la cavité générale. Les sexes sont le plus souvent séparés et quelquefois réunis, spécialement dans les espèces isolées. Outre la multiplication par spores adhérentes, on observe, chez les Madrépores, le phénomène curieux de la fissiparité. Les parois opposées d'un individu un peu plus volumineux que les autres s'infléchissent, les parties mises en contact se soudent, et la cloison ainsi formée s'organise des deux côtés, de manière à compléter les deux

nouveaux êtres. Enfin, d'autres fois, dans les colonies où les individus sont accolés les uns aux autres, ils se soudent uniquement par leur gastrula centrale ; puis la double cloison se rompt transversalement, et l'ensemble prend l'aspect d'un sillon qui décrit de nombreux méandres, sans qu'on puisse y découvrir la trace d'individualités distinctes. L'unification est alors complète.

Tous les Polypes, à base ou enveloppe calcaire, sont désignés en paléontologie sous le nom générique de *Coralliaires*. Aidés d'autres organismes à test également calcaire, ils ont constitué toutes les couches crayeuses que l'on rencontre dans la série des terrains. Bien souvent, surtout dans les temps les plus anciens, ils ont été disloqués, transportés et modifiés par les pressions, de manière à perdre leur aspect primitif. Néanmoins, dès le silurien inférieur, on est parvenu à spécifier des débris plus ou moins complets, qui tous se rattachent directement aux espèces actuelles. A toutes les époques, ils ont constitué des récifs littoraux ou de mer peu profonde, souvent d'une étendue et d'une épaisseur surprenantes. Comme ces formations ont encore lieu de nos jours, on a pu se rendre compte des causes de la puissance des gisements qu'ils constituent; les principales sont les oscillations de la croûte solide du globe. Ainsi que nous l'avons vu dans le chapitre relatif à la Terre, tout sol, immergé ou non, s'élève et s'abaisse alternativement d'une manière lente et continue. Or, les Coralliaires ne peuvent vivre que sous une couche de liquide, dont l'épaisseur ne peut être supérieure à 37 mètres. Lorsqu'un affaissement se produit, les animaux qui vivaient parfaitement à ce niveau, meurent en s'enfonçant; mais, comme le phénomène a lieu avec une extrême lenteur, de nouvelles générations ont le temps de s'élever sur leurs débris, et ainsi de suite. Quant à l'extension du récif en surface, elle a lieu toujours du côté de la pleine mer, dont

les flots amènent continuellement les éléments nutritifs indispensables à ces colonies sédentaires. Lorsque le sol est animé d'un mouvement ascensionnel, le récif cesse de croître en épaisseur aussitôt que l'émersion approche; mais il peut encore s'étendre, si le terrain est suffisamment en pente pour que les polypes puissent se maintenir à la profondeur favorable.

Les colonies de polypes simples, plus ou moins différenciés, peuvent être libres et flotter dans la mer. Alors la masse cellulaire commune affecte une forme cylindrique diversement ramifiée. Leur origine paraît spéciale. En effet, quelques espèces débutent, non par un polype générateur, mais par le substratum cellulaire lui-même, dont quelques éléments présentent des mouvements amiboïdes caractéristiques et sont entourés, sauf du côté libre, par une couche de substance amorphe d'apparence cornée. Les *Graptolithes* (1), que l'on rencontre dès la fin du cambrien, en seraient la souche. On les trouve sous forme de dessins de substance charbonneuse conservés entre les lames des schistes; ils représentent des tiges fines diversement contournées, sur lesquelles se dressent de petites loges qui devaient contenir les amibes qui les sécrétaient et qui, par la suite, auraient donné naissance à des Polypes. Dans cette hypothèse, l'association, le groupement, auraient précédé la forme gastrula.

Quoi qu'il en soit, ces colonies flottantes présentent des individus différenciés affectant les formes les plus diverses. Certains polypes tactiles sont aplatis en lame simple ou ramifiée, et semblent placés près des reproducteurs comme pour les protéger. Or, il arrive, dans certaines espèces, qu'autour d'un seul individu nourricier se groupent plusieurs reproducteurs munis de leur lame protectrice, et qui

(1) Γραπτὸς, *écrit*; λίθος, *pierre*.

finissent par se fusionner avec lui. En même te
lames se soudent par leurs bords latéraux et forn
cloche qui abrite la colonie secondaire. A un momer
l'ensemble se détache de la souche, nage dans l'
biante et, après une période de nutrition, donne
spermatozoïdes qui fécondent les ovules. L'œuf air
reproduit au loin la colonie primitive, sur laquel
meront de nouveaux groupes secondaires.

Lorsqu'on observa pour la première fois cette
sion de phénomènes, on fut frappé de la resseml
ces groupes de polypes en forme de cloche avec
duses depuis longtemps connues, mais dont on n'
encore suivi le développement. Or, il a été constaté
qu'elles naissent d'une façon analogue. Un pet
simple, dont les diverses espèces avaient été déjà s
développe sur les parois de sa gastrula une suite
ronnes composées de lames tactiles protectrices,
entre elles en forme de cloche. Au bout d'un certai
cette gastrula se partage en autant de segments
de couronnes. Chaque segment, en multipliant ses
devient une nouvelle gastrula placée au centre de la
puis les individus reproducteurs naissent dans
qui l'entoure, et la méduse libre n'a plus qu'à cr
reproduire le polype simple primitif. Quant au
générateur, il s'allonge de nouveau, et le ph
recommence. Parfois cette évolution a lieu dans l'

Ces découvertes jetèrent le trouble dans l'es
zoologistes, toujours disposés à appliquer aux org
inférieurs les théories basées sur l'observation
maux les plus élevés. Les termes de *génération alt*
de *digenèse*, etc., furent inventés, sans faire avance
tion. Pour nous qui avons pris pour point de départ
végétal, l'explication de ces phénomènes, prétendus
dinaires, est des plus simples. Les polypes comp

de véritables arbres, et les Méduses un groupe de branches, détaché par un marcottage naturel. Remarquons que la formation des Méduses a lieu absolument comme celle des Anémones de mer; la seule différence tient à la composition du protoplasme des polypes originels, d'où résultent des changements dans la forme, la couleur et la consistance. Avant d'aller plus loin, jetons un coup d'œil rétrospectif sur tout ce qui précède.

Les animaux, comme les végétaux, débutent par des corps monocellulaires qui se reproduisent par bipartition. Certains de ces corps, plus ou moins modifiés par l'alimentation, se multiplient, se groupent par affinité pour former des individus polycellulaires, toujours comme dans le règne végétal; ceux-ci se reproduisent tantôt par des spores agames adhérentes qui leur donnent la forme *polyzoïque*, tantôt par des spores sexuées, dont le produit est un œuf qui se détache; enfin, parmi les individus juxtaposés ou plus ou moins fusionnés, les uns sont chargés de nourrir la société et les autres de la reproduire, et cette différenciation n'a d'autres causes que les circonstances de milieu. L'identité des deux règnes ne va pas plus loin, mais nous la verrons se maintenir avec ces limites dans toute la série animale.

Aussitôt que l'individu polycellulaire dépasse un certain volume, il affecte, par un mécanisme très simple dont l'affinité est encore la cause, une forme spéciale définitive, celle de gastrula, ou cavité gastrique, dans laquelle s'accumulent les aliments. Leur présence attire, dans l'assise de cellules internes, les liquides digestifs pour lesquels ils ont une affinité chimique. Si l'on retourne la poche, l'assise externe, passant à l'intérieur, en est bientôt imbibée à son tour et devient digestive. Alors, entre les deux couches, apparaissent de nouvelles cellules, sur lesquelles s'accumule *la substance contractile*; elles forment des cellules

finissent par se fusionner avec lui. En même temps, les lames se soudent par leurs bords latéraux et forment une cloche qui abrite la colonie secondaire. A un moment donné, l'ensemble se détache de la souche, nage dans l'eau ambiante et, après une période de nutrition, donne issue aux spermatozoïdes qui fécondent les ovules. L'œuf ainsi formé reproduit au loin la colonie primitive, sur laquelle se formeront de nouveaux groupes secondaires.

Lorsqu'on observa pour la première fois cette succession de phénomènes, on fut frappé de la ressemblance de ces groupes de polypes en forme de cloche avec les *Méduses* depuis longtemps connues, mais dont on n'avait pas encore suivi le développement. Or, il a été constaté, depuis, qu'elles naissent d'une façon analogue. Un petit polype simple, dont les diverses espèces avaient été déjà signalées, développe sur les parois de sa gastrula une suite de couronnes composées de lames tactiles protectrices, soudées entre elles en forme de cloche. Au bout d'un certain temps, cette gastrula se partage en autant de segments qu'il y a de couronnes. Chaque segment, en multipliant ses cellules, devient une nouvelle gastrula placée au centre de la cloche, puis les individus reproducteurs naissent dans le sillon qui l'entoure, et la méduse libre n'a plus qu'à croître et à reproduire le polype simple primitif. Quant au polype générateur, il s'allonge de nouveau, et le phénomène recommence. Parfois cette évolution a lieu dans l'œuf.

Ces découvertes jetèrent le trouble dans l'esprit des zoologistes, toujours disposés à appliquer aux organismes inférieurs les théories basées sur l'observation des animaux les plus élevés. Les termes de *génération alternante*, de *digenèse*, etc., furent inventés, sans faire avancer la question. Pour nous qui avons pris pour point de départ le règne végétal, l'explication de ces phénomènes, prétendus extraordinaires, est des plus simples. Les polypes composés sont

de véritables arbres, et les Méduses un groupe de branches, détaché par un marcottage naturel. Remarquons que la formation des Méduses a lieu absolument comme celle des Anémones de mer; la seule différence tient à la composition du protoplasme des polypes originels, d'où résultent des changements dans la forme, la couleur et la consistance. Avant d'aller plus loin, jetons un coup d'œil rétrospectif sur tout ce qui précède.

Les animaux, comme les végétaux, débutent par des corps monocellulaires qui se reproduisent par bipartition. Certains de ces corps, plus ou moins modifiés par l'alimentation, se multiplient, se groupent par affinité pour former des individus polycellulaires, toujours comme dans le règne végétal; ceux-ci se reproduisent tantôt par des spores agames adhérentes qui leur donnent la forme *polyzoïque*, tantôt par des spores sexuées, dont le produit est un œuf qui se détache; enfin, parmi les individus juxtaposés ou plus ou moins fusionnés, les uns sont chargés de nourrir la société et les autres de la reproduire, et cette différenciation n'a d'autres causes que les circonstances de milieu. L'identité des deux règnes ne va pas plus loin, mais nous la verrons se maintenir avec ces limites dans toute la série animale.

Aussitôt que l'individu polycellulaire dépasse un certain volume, il affecte, par un mécanisme très simple dont l'affinité est encore la cause, une forme spéciale définitive, celle de gastrula, ou cavité gastrique, dans laquelle s'accumulent les aliments. Leur présence attire, dans l'assise de cellules internes, les liquides digestifs pour lesquels ils ont une affinité chimique. Si l'on retourne la poche, l'assise externe, passant à l'intérieur, en est bientôt imbibée à son tour et devient digestive. Alors, entre les deux couches, apparaissent de nouvelles cellules, sur lesquelles s'accumule la substance contractile; elles forment des cellules

musculaires, qui sont mises en rapport avec la matière nerveuse, restée dans les assises limitantes, par l'intermédiaire d'un petit prolongement de cette substance. L'affinité, qui avait réuni ces deux éléments, lors de la formation de la première cellule verte, ne perd pas ses droits.

Puis les individus polycellulaires, après s'être multipliés par spores adhérentes sur le même pied, se différencient, en se partageant les fonctions nutritives et génératrices, et, en se soudant les uns aux autres, finissent par constituer un seul individu, qui réunit toutes ces fonctions. C'est le cas des Anémones de mer et des Méduses. Alors, entre l'ectoderme et l'endoderme, les cellules intermédiaires se multiplient, et un certain nombre d'entre elles accumulent la matière nerveuse, qui reste en rapport par des filaments avec les éléments des deux assises primitives. L'affinité met en relation de la même manière les cellules nerveuses entre elles.

C'est ainsi que se forment les premiers appareils nerveux simples, que nous avons décrits en traitant de la nervosité. L'éther, que l'action comburante de l'oxygène introduit dans leurs molécules, passe de l'une à l'autre aussitôt qu'un contact a lieu sur les cellules de l'endoderme ou de l'ectoderme. La cellule nerveuse réceptrice l'accumule pour l'envoyer à la cellule motrice, qui le distribue, suivant le besoin, aux groupes d'éléments contractiles qui se raccourcissent par suite des réactions chimiques que nous connaissons. Ainsi le polype composé sent et se meut comme un animal supérieur. Mais, chez lui, les sensations causées par le contact d'un objet extérieur, les vibrations lumineuses de l'éther et les ondes sonores du liquide ambiant, semblent se confondre sur les mêmes nerfs; du moins ceux-ci ne présentent aucune différenciation.

est pas de même pour les Méduses. Chez ces

animaux, la plupart des cellules nerveuses sont disposées en cercle à la base de la gastrula, et, partant de ce cercle, les nerfs sensitifs se distribuent à toute la surface interne et externe, tandis que les moteurs vont animer les muscles des parois de la poche gastrique et de ses tentacules; ceux de la cloche ou ombrelle, dont les oscillations régulières font progresser l'animal, sont animés par des centres nerveux situés dans la région marginale, qui présente d'autre part des organes sensoriels distincts pour l'olfaction, l'audition et la vue. Groupés sur les extrémités tentaculaires plus ou moins fusionnées des lames protectrices dont nous avons parlé plus haut, ces organes des sens, où se rendent des fibrilles nerveuses, sont caractérisés : celui de la vue, par une tache noire; celui de l'odorat, par une simple fossette; enfin, celui de l'ouïe, par une petite poche dans laquelle des cellules libres, encroûtées de calcaire, s'agitent à chaque vibration sonore du liquide ambiant.

Partout où des cellules nerveuses et musculaires se trouvent différenciées, on en trouve d'autres situées également entre l'ectoderme et l'endoderme, mais qui paraissent avoir perdu, au profit de leurs voisines, les substances qui constituent celles-ci. Elles servent simplement de soutien et de moyen d'union. Ce sont des éléments *connectifs*, qui jouent un rôle très important chez les animaux supérieurs pour la constitution de leur squelette.

Enfin, l'ectoderme de tous les Polypes conserve un certain nombre de cellules non différenciées, qui sont aptes à continuer le développement du corps de l'animal ou à jouer le rôle de spores adhérentes pour la multiplication.

Ainsi, chez ces animaux d'apparence si inférieure, nous voyons déjà apparaître tous les éléments qui constituent les organismes les plus élevés; nous les voyons naître successivement et commencer à remplir leurs rôles spéciaux. *Il était indispensable* de nous arrêter à ce phéno-

mène pour bien comprendre la suite de l'évolution du règne animal et nous permettre de donner plus de rapidité à son exposé. Le point capital à retenir, c'est que, plus les individualités primaires s'accumulent et se fusionnent, plus leurs éléments cellulaires se différencient pour se partager le travail, et que l'affinité préside seule à toutes ces juxtapositions, fusions et différenciations. Le résultat est tel, parce qu'il ne peut être autre, étant donnée la composition du protoplasme primitif et les circonstances de milieu qui le modifient et l'influencent. La forme, chez les animaux, comme chez les végétaux, n'est donc que la conséquence forcée de ces diverses conditions.

BRYOZOAIRES.

Les *Bryozoaires* (animaux semblables aux mousses) sont voisins des Polypes, mais s'en distinguent par des particularités remarquables. Comme chez les Polypes, la gastrula est pédonculée, et communique, par sa base, avec une couche cellulaire en contact avec le sol sur laquelle des spores adhérentes donnent naissance à de nouveaux individus tous semblables, mais ne montrant jamais aucune tendance à se fusionner. Cependant cette gastrula n'est pas nourricière ; c'est une espèce d'enveloppe qui peut s'encroûter extérieurement, comme la masse cellulaire commune à la colonie, soit d'une substance cornée, soit d'une véritable couche calcaire. Elle est munie, à son centre, d'un mamelon plus ou moins allongé, composé de cellules susceptibles de jouer le rôle de spores adhérentes. De l'extrémité de ce petit cordon (funicule), naît un tube digestif recourbé en U et muni de deux orifices, un anus et une bouche entourée de fines tentacules dont les mouvements engouffrent dans l'intérieur l'eau avec les aliments qu'elle

peut contenir. Un ganglion nerveux est situé dans l'épaisseur du tube et met en mouvement des muscles rétracteurs qui sont situés en dehors et s'attachent aux parois de la poche. A la base du funicule, naissent de petites poches reproductrices qui produisent des spores sexuées. Chose remarquable, le tube digestif disparaît fréquemment, en se flétrissant, et il est aussitôt reproduit par une spore agame du funicule.

Cette différenciation si spéciale du polype primitif n'a donné aucune descendance, pas plus que les polypes composés, soit de la forme des Anémones, soit de celle des Méduses. Nous avons vu qu'il en a été de même des Spongiaires, des Infusoires ciliés, des Radiolaires et des Foraminifères. L'évolution des Bryozoaires est déjà très ancienne; on en trouve les premières traces dans le silurien.

ÉCHINODERMES.

Les *Échinodermes* (peau de hérisson) nous offrent un groupement de gastrulas différenciées analogue aux précédents, mais avec des modifications importantes. Leur peau est recouverte de plaques calcaires hérissées de saillies plus ou moins accentuées. En tenant compte des espèces paléontologiques aujourd'hui disparues, voici, en peu de mots, l'évolution de cette classe remarquable d'animaux polyzoïques à éléments collatéraux.

Les Échinodermes se montrent d'abord sous la forme d'une simple sphère supportée par une tige flexible, adhérente au sol, mais revêtue de plaques calcaires disposées en anneaux (*Cystidés*) (1). Puis, autour de cet individu, apparaissent des reproducteurs, généralement au nombre de cinq, mais dont les ramifications peuvent être très nom-

(1) *Κύστις, ιδος,* vessie, sac.

breuses; elles servent à attirer les aliments vers la bouche de la gastrula nourricière (*Crinoïdes*) (1). Le support persiste d'abord; puis, il disparaît à l'âge adulte, comme chez la *Comatule*. Alors la région buccale de l'animal, tournée d'abord vers le ciel, se met en rapport avec le sol par suite du changement de position de son centre de gravité; cette nouvelle situation favorise la recherche de la nourriture et persistera désormais. Chez les *Étoiles de mer*, la pédiculisation ne se manifeste plus; les ramifications des individus périphériques, cessant leurs fonctions primitives et, ne servant plus qu'à la progression, se simplifient graduellement et finissent par disparaître (Étoiles de mer de nos côtes normandes). Puis, les organes reproducteurs quittent les bras pour s'accoler à l'individu nourricier (*Ophiures*) (2). Enfin les bras eux-mêmes se relèvent et s'accolent par leur face dorsale à la gastrula centrale, et la forme *Oursin* est constituée, toujours dans la position prise par la Comatule devenue libre. Plus tard le corps de l'Oursin s'allonge, les plaques dermiques diminuent de volume, et la rigidité disparaît. Dans ces conditions, la gastrula de l'*Holothurie*, ainsi formée, ne peut plus rester perpendiculaire à la surface du sol; elle tombe, devient horizontale sans trace de face dorsale ou ventrale distincte, et la progression a lieu par reptation. La bouche, n'étant plus pressée sur le sol, mais située à l'extrémité de ce cylindre informe, produit des tentacules contractiles, qui servent au toucher et à la préhension des aliments, particularité qui existait sans doute chez les Cystidés primitifs. Enfin, une face ventrale se dessine à la longue, et les muscles de la reptation s'y concentrent. Là s'arrête l'évolution.

Sauf peut-être celle des Cystidés, toutes ces formes suc-

(1) Κρίνον, lis; εἶδος, apparence.

(2) Ὄφις, serpent; οὐρά, queue. Les bras se meuvent par reptation.

cessives ont encore aujourd'hui leurs représentants, et on les voit apparaître dans les temps géologiques suivant l'ordre de leur évolution, depuis le cambrien jusqu'à nos jours.

La composition élémentaire des Échinodermes, formés d'un individu central nourricier et de cinq individus périphériques, est confirmée par l'embryologie. La gastrula se montre d'abord ; puis, au bout d'un certain temps d'une vie propre, elle donne naissance, par spores adhérentes, aux cinq individus tactiles et reproducteurs qui, sauf chez l'Oursin et l'Holothurie, ont leur cavité gastrique communiquant avec la gastrula centrale.

Certains zoologistes ont émis l'idée que chacune de ces individualités n'était pas simple, mais formée d'une série linéaire de gastrulas semblables à celles que présentent les vers, dont nous parlerons bientôt. Nous verrons alors ce qu'il faut en penser relativement à la gastrula centrale ; mais pour les individus périphériques, l'apparence de segmentation qu'ils présentent, est due simplement aux cassures produites par leurs mouvements. Il est néanmoins un fait démontré par l'embryologie, c'est que le polype initial, avant de se fixer sur une tige, a vécu couché sur le sol. Il n'en est pas de même pour les Polypes proprement dits : la bouche de leur gastrula a toujours été dirigée vers le ciel.

L'organisation des Échinodermes rappelle beaucoup celle des Méduses, sauf les modifications suivantes.

Lorsque l'ectoderme fut recouvert de plaques calcaires imperméables aux gaz, le liquide ambiant pénétra, par la pression qu'il exerce, au travers de l'une d'elles (plaque madréporique), entre cet ectoderme et l'endoderme digestif, et forma des conduits aquifères qui portèrent l'oxygène dissous à tous les corps protoplasmiques élémentaires. Sa pression fit faire hernie à l'ectoderme dans les intervalles

des plaques ventrales des bras ; il en résulta de petits appendices remplis d'eau qui servirent d'organes du tact aux Crinoïdes et aux Cystidés, puis d'organes de progression aux Étoiles de mer, aux Oursins et aux Holothuries.

Le système nerveux forme autour de la gastrula centrale un pentagone qui envoie, de chacun de ses angles, des prolongements dans chaque bras.

Les organes des sens ne sont pas plus développés que chez les Méduses, et même souvent moins. Le toucher varie suivant les formes ; nous avons vu que, chez les Crinoïdes, il siège spécialement dans les petites hernies en tube des canaux aquifères. Il est concentré, chez les Étoiles de mer, dans celles des extrémités des bras. Les piquants des Oursins, munis de muscles moteurs, paraissent transmettre les chocs à l'ectoderme, où se rend sans doute un nerf sensitif. Ce sont les tentacules des Holothuries qui sont leurs organes tactiles.

Il existe chez ces animaux un commencement de circulation. De petits vaisseaux puisent les produits de la digestion à la surface externe du tube digestif, et se réunissent en un seul, qui, contractile en un point, envoie une partie du liquide nutritif aux poches génitales, par une seconde ramification. Le reste paraît se répandre dans les canaux aquifères, qui distribueraient ainsi les produits de la digestion en même temps que l'oxygène aux autres cellules élémentaires.

Le tube digestif simple ou ramifié, suivant que les bras sont libres ou soudés, présente un orifice anal diversement situé.

Les sexes sont séparés. Les poches à spores sexuées sont plus ou moins ramifiées et émettent leurs produits par des pores génitaux percés sur des points variables de la paroi dorsale. La fécondation a lieu ordinairement dans le liquide ambiant.

Nous avons dit que les formes évolutives des Échinodermes s'étaient succédé depuis le cambrien, où on découvre les premiers Cystidés. Aujourd'hui elles paraissent toutes vers leur déclin ; mais elles ont eu des moments d'épanouissement souvent extraordinaires. Ainsi les Crinoïdes ont été si nombreux dans les mers jurassiques, qu'ils ont formé des bancs calcaires d'une grande puissance ; tels sont ceux que l'on rencontre sur les hauts plateaux de la Côte-d'Or, du côté du bassin de la Seine.

Tous les animaux dont nous venons d'exposer le développement, sont essentiellement marins ; quelques espèces inférieures, spécialement parmi les Bryozoaires, sont seules passées dans les eaux douces lors de leur formation et s'y sont maintenues. Mais aucune n'a pu se transformer pour pouvoir vivre sur les terrains émergés. C'est une première différence entre les individus composés de gastrulas juxtaposées et ceux qui résultent de leur disposition en série linéaire et dont il nous reste à nous occuper.

§ 4. ANIMAUX POLYZOÏQUES A ÉLÉMENTS DISPOSÉS EN SÉRIE LINÉAIRE.

Leur origine. — Vers. — Mollusques : Brachiopodes, Céphalopodes, Gastéropodes et Acéphales. Crustacés. — Insectes. — Vertébrés : Tuniciers, Poissons, Batraciens, Reptiles, Oiseaux et Mammifères.

Jusqu'ici nous n'avons rencontré que des gastrulas primitives dressées. Dans ces conditions, leur multiplication par spores adhérentes ne pouvait avoir lieu que sur une expansion de leur pied ou sur leur surface externe, et la fusion des individus ne s'est produite que par un contact latéral ; c'est l'Holothurie qui nous a présenté cette fusion au *plus haut degré*. En un mot, la formation des indi-

vidus nouveaux, quel que soit leur rôle, a toujours eu lieu de toute pièce.

Nous avons cependant rencontré une exception ; c'est dans le développement des Méduses ordinaires. Le polype simple, d'où elles tirent leur origine, donne naissance, sur sa paroi extérieure, à plusieurs verticilles d'individus reproducteurs munis chacun d'un individu tactile aplati et dont les lames, en se réunissant, forment une espèce de cloche qui deviendra l'ombrelle de la jeune méduse. La gastrula centrale s'allonge d'une certaine quantité au fur et à mesure que naissent les verticilles, qui apparaissent successivement depuis la couronne de tentacules jusqu'à une certaine distance du pied. C'est donc le fond de la cavité gastrique qui, en multipliant ses éléments protoplasmiques, produit chaque segment. A un moment donné, les verticilles se détachent, chacun emportant le segment situé au-dessus de lui, pour en faire sa gastrula centrale. Avant cette séparation, le polype générateur se trouvait donc composé d'une série linéaire de polypes, indiqués seulement par un étranglement au niveau des verticilles. Lorsque les jeunes méduses ont pris leur essor, le polype générateur reforme sa bouche et les tentacules qui l'entourent, et le phénomène recommence.

Hé bien, tel est à peu près le mode de formation de la grande classe des Vers, celui des Mollusques, des Arthropodes et enfin des Vertébrés, qui en sont issus, avec cette différence que les segments ne se séparent pas, et qu'aucune spore adhérente ne produit latéralement ni individu reproducteur, ni individu tactile. Le mouvement végétatif en ligne annihile toute végétation latérale importante.

C'est le moment de revenir à l'opinion des zoologistes qui prétendent que les vers sont également la souche des Echinodermes. La jeune larve des Comatules, fixées, comme on le sait, dans leur jeunesse, présente cinq couronnes de

cils vibratiles qui limitent cinq apparences de segments. La bouche se trouve sur le second; mais elle se ferme bientôt pour se reproduire à l'autre extrémité, lorsque le pédoncule, né du premier segment, a fixé l'animal au sol et l'a redressé. Dès lors, toute trace de segmentation disparaît, et les individus périphériques naissent en cercle au niveau de l'ancienne bouche. Comme cette métamorphose a lieu dans tous les types de la classe, on peut admettre que la gastrula centrale, durant la première phase de son développement, s'accroît à la manière des Vers, mais qu'elle perd bientôt ces caractères, redevient un simple polype et se comporte comme tel. Le nombre des bras, qui est de cinq, est-il la conséquence de celui des prétendus segments, ou est-ce une simple coïncidence ? Il est difficile de le dire. Quoi qu'il en soit, si l'Échinoderme débute à la manière des Vers, le reste de son développement est bien celui des Polypes composés, et c'est la fixation du premier ancêtre qui est la cause de ce changement de direction que l'hérédité a perpétué, même après la disparition complète du pédoncule.

Tous les animaux dont il nous reste à parler sont libres pendant leur croissance qui a toujours lieu par addition de gastrulas disposées en série linéaire; s'ils se fixent, ce n'est qu'accidentellement et plus ou moins tard. Il y aura bien encore des individus nourriciers, reproducteurs et tactiles, mais ils seront placés bout à bout et jamais en bouquet.

De même que la gastrula fixée a produit le polype simple, de même la gastrula libre a donné naissance à plusieurs formes simples concentrant en elles toutes les fonctions : nervosité, nutrition, reproduction, respiration et excrétion. Tels sont les Rotifères, animaux reviviscents, dont on ne peut saisir les détails d'organisation qu'à l'aide d'un fort grossissement. On a voulu, pour cette raison, les rapprocher des Infusoires ciliés, évidemment mono-

cellulaires ; mais leur tube digestif distinct et surtout leur mode de reproduction par œufs et jamais par bipartition, les doivent faire ranger parmi les gastrulaires simples. Notons que parmi ces types, d'ailleurs rares, il en est qui ont le corps recouvert d'une couche de chitine, comme les Crustacés et les Insectes ; ils progressent à l'aide de longues soies de cette substance, sécrétées par l'ectoderme et que les muscles de la gastrula mettent en mouvement. La locomotion de tous les autres est due à des cils vibratiles. Ce serait peut-être là le point de départ des grandes divisions zoologiques dont nous suivrons le développement. En effet, les cils vibratiles se retrouvent chez les Mollusques et tous les Vertébrés, même les plus élevés, et jamais chez les Crustacés et les Insectes.

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DU GROUPE.

Tous les animaux si diversement différenciés dont nous nous occupons, naissent d'une gastrula couchée sur le sol, qui bientôt se partage transversalement en deux parties. De la moitié postérieure naissent successivement une série de segments intercalaires qui l'éloignent de plus en plus de la moitié antérieure, jusqu'à ce que le nombre spécifique soit atteint. Cette position couchée a entraîné forcément une symétrie bilatérale de tous les organes, et deux régions : ventrale et dorsale, tous caractères complètement inconnus dans le groupe précédent. La bouche, dirigée vers la terre, s'ouvre ordinairement sur le second segment, et le tube digestif commun qui lui fait suite, se perfore au niveau de l'avant-dernier pour former l'anus. Toutes ces individualités secondaires sont semblables entre elles, sauf la première et la dernière qui, généralement, ' chargées spécialement des organes sensoriels.

Voici la description générale d'un segment intercalaire.

Les cellules, ou corps protoplasmiques, qui se développent entre l'endoderme et l'ectoderme, se différencient comme nous l'avons déjà vu pour les polypes composés. Généralement elles se portent vers le côté ventral. Sur la ligne médiane on trouve les cellules nerveuses groupées en un ganglion unique, ou séparées en deux masses situées sur le même plan; elles émettent les filets moteurs et sensitifs. Au-dessus se trouve un mince cordon longitudinal de cellules indifférentes ou mieux connectives (corde dorsale des Vertébrés). Sur les parties latérales de ces deux groupes sont les cellules reproductrices, contenues dans un sac de tissu connectif; enfin au centre du segment se trouve le tube formé par l'endoderme de la gastrula. Quant aux cellules musculaires, elles forment une couche continue sous-ectodermique : les unes sont disposées en ligne parallèlement à l'axe, et les autres en cercles perpendiculaires aux premières. L'ensemble est soutenu par une couche de tissus connectifs et limité par l'ectoderme.

Généralement, au-dessus et au-dessous du tube digestif et parallèlement à lui, on trouve deux vaisseaux sanguins qui communiquent entre eux par un troisième de forme circulaire. A l'aidede ramifications capillaires, ils puisent sur la surface extérieure du tube digestif les produits élaborés par lui, et les transportent à tous les autres éléments cellulaires par l'entremise d'autres ramifications.

Ces vaisseaux plus ou moins contournés sont toujours contractiles en un point de leur parcours.

C'est l'ectoderme qui absorbe, soit directement, soit par l'entremise de certaines de ses parties diversement modifiées, l'oxygène du milieu ambiant et le transmet aux autres éléments, en même temps qu'il les débarrasse de l'acide

carbonique, résultat de la combustion. Les autres produits non gazeux de l'action comburante de l'oxygène, sont expulsés, de chaque côté, au dehors par un tube contourné, dont l'extrémité intérieure, étalée en forme de pavillon, s'ouvre dans la cavité qui sépare les deux couches de cellules de la gastrula et qui contient tous les organes ci-dessus énumérés. Dans les groupes les plus élevés, ce pavillon reçoit les matières à excréter d'un peloton de vaisseaux sanguins qui les filtre à travers les parois. Le liquide ainsi expulsé n'est autre que l'urine. C'est le phénomène physique de l'endosmose qui préside à tous ces échanges. Ces tubes ont reçu le nom d'*organes segmentaires*.

Dans les mêmes groupes supérieurs, le tube endodermique est tapissé de cellules contractiles disposées comme celles qui se trouvent sous l'ectoderme, et soutenues également par une couche de cellules connectives. Souvent aussi il s'invagine dans l'intervalle de ces éléments, sous forme de tubes plus ou moins longs, plus ou moins ramifiés, qui forment des glandes gastriques. Enfin la locomotion est assurée par la reptation ou par une couple d'appendices latéraux qui font fonction de pieds, et que des muscles spéciaux mettent en mouvement. Ce sont des tentacules transformés, mais qui, néanmoins, ont conservé leurs propriétés tactiles.

Ainsi, chez les animaux polyzoïques à éléments disposés en ligne, chaque segment intercalaire contient tous les organes dont la présence est rendue nécessaire par la différenciation des corps protoplasmiques. Il vit donc de sa vie propre. De plus il est relié à ses voisins par l'ectoderme et le cordon de cellules connectives situé au-dessus du système nerveux, et il est en relation avec eux par la continuité du tube digestif et des vaisseaux sanguins, et par des filets de substance nerveuse que les ganglions s'envoient les uns aux autres. Tous les segments sont donc auto-

nomes et en même temps solidaires les uns des autres.

Néanmoins ils peuvent se spécialiser. Ainsi, comme nous l'avons déjà dit, le premier et le dernier portent les tentacules. De plus, les organes de la vue, de l'ouïe et de l'odorat sont en général réservés à celui d'entre eux, dans la direction duquel se fait la progression. Le groupe de cellules nerveuses du segment antérieur qui reçoit ces sensations spéciales, transmet le courant de nervosité à tous les autres qui font exécuter les mouvements dont elles indiquent la nécessité. C'est donc un véritable cerveau.

Les poches qui contiennent les spores sexuées, peuvent exister dans tous les segments, mais le plus souvent elles ne se développent que dans une série plus ou moins nombreuse. A la maturité, ces poches s'ouvrent dans la cavité générale du segment, et les éléments sexués en sortent, soit directement, soit par les tubes urinifères qui les reçoivent dans leurs pavillons. Ce fait est très important à noter, car il explique comment, dans tous les groupes, jusqu'à l'homme lui-même, quelles que soient les complications de l'organisation, les organes génitaux et urinaires forment un ensemble et expulsent généralement leurs produits par les mêmes voies.

Comme conséquence de l'autonomie des segments, il arrive, chez certaines espèces, qu'un individu adulte se partage en deux, trois et même quatre fragments qui, après s'être refait, soit une tête, soit un segment caudal, soit les deux en même temps, deviennent des individus aussi complets que celui dont ils sont issus.

Cependant ces faits sont rares, et le plus souvent il y a, au contraire, migration d'organes d'un segment à l'autre dans la direction de la tête. Ce sont surtout les groupes de cellules nerveuses qui se transportent ainsi. Mais elles conservent toujours la direction de leur segment d'origine, en perçoivent les sensations et en excitent les mou-

vements ; pour arriver à ce résultat, les filets de leurs substances s'allongent simplement. Les ganglions peuvent même être réduits à deux, l'un au-dessus, l'autre au-dessous de l'œsophage ou première partie du tube digestif, autour duquel ils forment une espèce de collier.

Si la peau ou ectoderme ne peut plus exécuter la fonction respiratoire, celle-ci se localise sur les appendices latéraux ou locomoteurs qui deviennent alors des branchies. Les conduits urinifères peuvent aussi se grouper, et alors ils se déversent dans un canal commun qui suit la paroi latérale interne des segments et se vide au dehors par un seul orifice.

La multiplication de la gastrula primitive par segments successifs se fait de différentes manières. Si elle sort de l'œuf aussitôt sa formation, elle se nourrit elle-même et subit, dans le milieu ambiant, toutes ses transformations. Ce sont alors, au début, des cils vibratiles qui lui permettent de se mouvoir et d'ingérer les aliments à sa portée. Lorsque sa sortie est tardive, elle trouve dans l'œuf, soit autour d'elle, soit en elle, dans les couches de cellules de la paroi opposée à celles où se développent les principaux organes, des matériaux alimentaires de réserve qu'elle absorbe et qui lui permettent de se multiplier jusqu'à ce qu'elle ait acquis le nombre de segments voulu. Souvent même, chez les animaux vivipares, elle s'implante par un point de sa surface dans l'organisme maternel aux dépens duquel elle se nourrit. Elle s'échappe ensuite, mais jamais à l'état adulte.

A l'aide de ces données générales qui s'appliquent à tous les êtres qui sont formés d'une série linéaire de gastrulas plus ou moins nombreuses, nous allons pouvoir suivre leurs diverses transformations, nous aidant tantôt du développement de la race, tantôt de celui de l'individu.

A la base du vaste embranchement dont nous entre-

prenons de décrire l'évolution, se trouve le groupe des Vers qui en est l'expression la plus simple. C'est par lui qu'a débuté la série phylogénique des autres groupes secondaires; comme nous le verrons bientôt, c'est également par lui que commence le développement ontogénique de tous les individus qui les composent.

VERS.

C'est à ces animaux que s'applique plus spécialement la description générale que nous venons de donner; nous n'y reviendrons donc pas.

Les Vers sont représentés par une multitude d'espèces, dont le plus grand nombre habitent encore la mer, leur patrie d'origine. Certains groupes ont émigré dans les eaux douces où leurs formes se sont plus ou moins modifiées. Quelques espèces seulement ont survécu à l'émersion des continents, tels sont les Lombrics ou vers de terre; encore ceux-ci ne peuvent-ils vivre à l'air libre qui les dessèche. Il est inutile de dire que tous les autres Vers, que le vulgaire, ce premier transformiste, signale un peu partout, sont des larves d'insectes qui vivent dans les plantes ou dans les débris organiques, tels que le bois, les étoffes, etc. Quant aux Helminthes ou vers parasites, qui habitent les animaux terrestres, quelques-uns ont pu suivre ceux-ci sur le sol émergé; mais la plupart s'y sont introduits postérieurement à l'état d'œuf, soit avec l'eau ingérée, soit avec la chair des animaux marins ou d'eau douce. Ce changement d'habitat leur a fait subir des transformations très intéressantes, mais que nous ne pouvons décrire.

Au milieu du fouillis inextricable que présente la grande classe des Vers, il a été jusqu'ici impossible de savoir

quelles sont les espèces souches. On peut seulement affirmer que les plus anciennes sont celles dont les segments présentent le plus d'indépendance; partout où l'on observe des fusions plus ou moins complètes, il y a eu transformation. Enfin les Vers libres ont certainement précédé les tubicoles.

Les tubes calcaires des Serpules, collés sur les roches ou les coquilles de Mollusques, sont les seuls restes authentiques du groupe des Vers que la paléontologie nous fournissent. On en trouve dans tous les terrains jusqu'au silurien inclusivement. Mais l'antiquité des espèces libres doit aller bien au delà, car cette époque nous montre une foule d'autres animaux qui en sont issus par une suite de transformations.

MOLLUSQUES.

Quels sont les Vers qui, par leur transformation, ont donné naissance aux différents ordres de Mollusques? Il est évident que la faune actuelle n'en présente plus de trace, puisqu'ils ont dû disparaître par le fait même de cette transformation. La paléontologie jusqu'ici n'a pu nous éclairer dans cette recherche; on peut seulement supposer qu'ils étaient tubicoles. C'est donc l'embryologie qui sera, comme toujours, la source où nous puiserons les preuves susceptibles de démontrer la filiation.

Brachiopodes. — Les plus anciens mollusques et les plus inférieurs sont les Brachiopodes. Leurs larves ne présentent que trois segments; le médian forme un repli appelé manteau qui sécrète deux valves calcaires qui renferment l'animal, l'une pour le dos, l'autre pour le ventre; le segment céphalique porte deux longs tentacules qui servent de branchies, et contient tous les organes de l'animal *adulte*; enfin, le troisième sert à le fixer au sol. Ainsi,

toute la concentration s'est portée sur le segment céphalique. Ces animaux n'ont aucun rapport avec les Huîtres, dont les coquilles sont latérales.

Les premiers Brachiopodes apparaissent dans le cambrien, atteignent leur plus grand développement dans le silurien, et se sont perpétués depuis, toujours en déclinant. Aujourd'hui c'est à peine si, dans nos mers, on en trouve quelques espèces. Ils sont toujours restés en dehors des eaux douces.

Céphalopodes. — Les Céphalopodes sont représentés aujourd'hui par les Seiches, les Poulpes, les Calmars et les Nautiles. Leur corps est globuleux, terminé par une tête volumineuse munie d'organes des sens très perfectionnés, et entourés de tentacules de grandes dimensions qui servent en même temps à la progression de l'animal. Le Nautile seul possède actuellement une coquille à spirales serrées, et formée d'une succession de loges que l'animal a sécrétées, puis quittées au fur et à mesure de son développement. Les autres genres dérivent de formes paléontologiques qui en possédaient également, mais aujourd'hui le manteau qui les produisait ne leur sert plus qu'à la natation. Il protège néanmoins les branchies situées sur les parties latérales du corps immédiatement sous la tête ; à ce niveau sont concentrés tous les ganglions nerveux.

La gastrula de ces mollusques se développe à l'aide d'une masse considérable de matériaux nutritifs contenus dans les éléments de sa face dorsale, elle finit par les isoler sous la forme d'une vésicule où ses vaisseaux vont puiser les matières organisables. Mais la concentration céphalique est si rapide que jusqu'ici on n'a pu distinguer le nombre de segments qui se produisent.

Les Céphalopodes à coquilles des temps géologiques sont les Ammonites et les Bélemnites. Celle de ces dernières était en *grande partie* formée de substance cornée et con-

tenue dans l'épaisseur de leur manteau, comme les Calmars nous en montrent encore quelques traces. Les Ammonites apparaissent dans les terrains primaires, prennent un grand développement à la base du secondaire et disparaissent dans le crétacé. Les Bélemnites plus récentes, devenues très abondantes dans le jurassique, ont fini en même temps que les Ammonites. Ces animaux ont toujours été marins.

Gastéropodes. — Ces Mollusques, dont nos Escargots peuvent donner une idée générale, sont improprement appelés Gastéropodes. En effet, le pied sur lequel ils rampent, n'a aucune relation avec la paroi abdominale. Il est le résultat d'une concentration de tentacules moteurs, partis du voisinage de la bouche. Chez les Limaces seules, l'absence de coquille a fait tomber le tube digestif sur la face dorsale du pied, avec lequel il s'est confondu. Les organes des sens occupent la partie supérieure de la tête. Immédiatement en arrière, se trouvent les appendices branchiaux recouverts par un prolongement du manteau, et, à l'intérieur, les ganglions nerveux et les organes génitaux urinaires. Le tube digestif replié et ses annexes remplissent la coquille; l'anus s'ouvre dans la région du cou. La gastrula présente dans son développement sept ou huit segments qui s'effacent bientôt, par suite de la concentration que je viens d'indiquer.

Apparus dans les mers primaires, les Gastéropodes n'ont cessé de se multiplier depuis. Si des espèces ont disparu, un grand nombre d'autres ont surgi; elles sont innombrables.

Ce n'est qu'à l'époque jurassique que ces mollusques se sont aventurés dans les eaux douces, qui leur étaient peu favorables, car on n'y compte que quelques familles, telles que les Limnées et les Planorbes. Bien longtemps après, c'est-à-dire au commencement des temps

tertiaires, ils se sont établis sur les continents, où plusieurs d'entre eux ont perdu leurs coquilles.

Toutes les espèces qui ont quitté les eaux salées ont transformé leur chambre branchiale en sac pulmonaire, d'où l'on doit conclure que l'eau douce a exercé une action destructive sur les organes si délicats qu'elle contenait. On sait, en effet, que la couche de cellules qui recouvre les branchies des animaux marins se dissout dans l'eau douce, et que l'asphyxie en résulte forcément, si la peau ne vient suppléer à la disparition de l'organe respiratoire, ce qui est arrivé précisément pour tous les Gastéropodes pulmonés, dont la peau concourt pour une grande part à la respiration. Cette transformation de l'appareil respiratoire a singulièrement facilité le passage sur la terre ferme.

Néanmoins, malgré la viscosité de l'enduit muqueux que sécrète leur peau, la sécheresse est très préjudiciable aux espèces terrestres, et elles doivent toujours rechercher les lieux humides.

Acéphales. — Les Mollusques acéphales, tels que les Huîtres, les Coquilles Saint-Jacques, etc., ne sont pas si irréguliers qu'ils le paraissent. Le corps est parallèle à la charnière des coquilles, et présente, dans la partie digestive, un degré d'évolution assez élevé ; la bouche est entourée de tentacules disposés sous forme de voile ou de pied musculeux. Les ganglions nerveux sont concentrés aux deux extrémités du tube digestif. Les branchies et le manteau qui sécrète le revêtement calcaire, sont des appendices lamelleux qui partent des parois latérales du corps. Ce sont ces appendices soudés qui portent les organes des sens spéciaux, tels que ceux de l'ouïe et de la vue, à l'exclusion du segment céphalique situé très profondément. Du reste, plusieurs espèces de Vers ont des yeux à tous les segments intermédiaires ; il n'y a donc rien de surprenant que ceux des animaux en question en présentent à l'extrémité de

leurs appendices. C'est la confirmation de la communauté d'origine. Cependant jusqu'ici la segmentation de la gastrula embryonnaire n'a pas été encore signalée.

Les Acéphales apparaissent à la fin du silurien et se sont perpétués jusqu'à nos jours, en se modifiant et se transformant de diverses manières. L'étude de leur enveloppe calcaire, comme l'étude de celle des autres mollusques, permet de suivre, d'âge en âge, ces modifications graduelles qui les font passer insensiblement d'une forme à l'autre. Aussi, les classificateurs ne sont-ils pas d'accord à ce sujet. Les uns multiplient les espèces à l'infini, d'autres les restreignent à quelques types tranchés. La vérité est que, lorsque l'on peut suivre l'évolution des animaux dans la série des âges, on voit que la notion d'espèce n'a de valeur qu'à un moment donné. Affirmer leur fixité, c'est considérer comme immobile une aiguille qui met un siècle pour faire le tour d'un cadran.

Les Mollusques bivalves, dont nous parlons, n'ont passé que tard dans les eaux douces et n'y ont pas prospéré beaucoup ; les genres y sont peu nombreux et les espèces peu variées. Les premiers que l'on ait découverts datent de la fin du jurassique. Leur forme spéciale leur a interdit l'accès des terrains desséchés.

CRUSTACÉS.

Le nom de ces animaux leur vient de ce que les principales espèces ont leur épiderme encroûté de matière calcaire. Bien que ce caractère soit loin d'être constant, ils n'en forment pas moins, par leur mode de développement, un groupe très naturel.

Le ver qui donna naissance aux Crustacés devait posséder bien peu de segments ; peut-être était-il analogue à ces petits mono-gastrulaires marins, couverts de chi-

tine (1), dont j'ai parlé plus haut. En effet, l'évolution de ce groupe est caractérisée par l'addition successive de nouveaux segments; et, chose remarquable, tous reproduisent, dans leur développement ontogénique, les mêmes phases que la phylogénie que la série des espèces vivantes permet de reconstruire avec une exactitude vraiment surprenante. Les individus les plus élevés, comme les plus infimes, sortent de l'œuf avec quatre segments dont les appendices servent de pattes ambulatoires. Puis, après chaque mue rendue nécessaire par l'inextensibilité de l'enveloppe chitineuse, de nouveaux segments s'ajoutent en arrière des trois premiers qu'ils repoussent vers la tête, si bien que les premiers appendices changent de rôle et deviennent des mandibules ou pattes mâchoires. On ne peut trouver une démonstration plus éclatante de la doctrine du transformisme et du mode de formation des animaux polyzoïques par addition successive de gastrulas en série linéaire; c'est absolument celui que nous avons décrit à propos des vers.

Tous les appendices latéraux peuvent servir d'appareil branchial pour la respiration. Chez les grandes espèces à segments thoraciques soudés, les branchies se réfugient dans une chambre spéciale, contenue dans la carapace et qui abrite également la première partie du tube digestif et le centre circulatoire. C'est par la tête que la confluence des segments débute toujours ; elle porte la bouche et les organes des sens; aussi ce que l'on nomme tête n'est pas simplement le segment antérieur, mais quatre ou cinq

(1) La *chitine* est une substance spéciale aux Crustacés et aux Insectes; elle est formée de l'union de la cellulose avec un principe azoté encore mal défini. On la distingue facilement de la matière cornée ou *kératine* qui en tient lieu chez les Vertébrés : lorsqu'on la place sur des charbons ardents, elle ne donne pas l'odeur de corne brûlée que tout le monde connaît.

segments réunis. Les ganglions sus et sous-œsophagiens sont en conséquence plus volumineux, surtout dans les Langoustes, les Homards et les Crabes.

La reproduction a lieu par sexes séparés; mais certaines espèces donnent naissance non à des éléments sexués, mais à de véritables spores agames, absolument comme les plantes. On donne le nom de *Parthénogenèse* (1) à ce phénomène remarquable. Il a lieu spécialement chez les Apus et les Daphnies. Ces dernières sont ces petits animaux qu'on voit s'agiter par saccade dans les mares, en essaims très nombreux. Au printemps, tant que la nourriture est abondante, les femelles, qui sont seules alors, produisent, par une suite de générations, un nombre considérable d'autres femelles. A la fin de la saison, lorsque les conditions de la vie sont plus difficiles, il naît des individus sexués, et les œufs qu'ils émettent, sont recouverts d'une couche chitineuse plus épaisse qui leur permet de passer l'hiver.

Quelques autres Crustacés présentent des particularités remarquables.

Les Cirripèdes (2), qui ont fait longtemps le désespoir des classificateurs, vivent libres pendant leur jeune âge et revêtent les mêmes formes que les autres espèces du groupe; puis, à un moment donné, ils se fixent par un des tentacules céphaliques, qui s'hypertrophie et sécrète une matière adhésive. Dans ces conditions, la croissance ne s'opère plus de la même manière que chez les espèces libres, et produit ces êtres bizarres, connus, sur le bord de la mer, sous le nom de Balanes, qui adhèrent aux rochers et aux carapaces des Crabes, et sous celui d'Anatifs, que l'on rencontre en si grand nombre sur les bois flottants auxquels ils adhèrent par un long cylindre de consistance

(1) Παρθένος, vierge; γένεσις, engendrement.
(2) *Cirrus*, boucle (de cheveux), et *pes*, *pedis*, pied.

charnue. La carapace thoracique forme autour d'eux une espèce de coquille bivalve. Tous les appendices latéraux sont transformés en longues cirres ou vrilles qui servent à la respiration, et, par leur agitation continuelle, attirent les aliments vers la bouche, dirigée vers le ciel, au fond de la cavité. C'est un bel exemple de l'influence dégradante de l'immobilité.

Tout le monde connaît les Bernard-l'Hermite qui habitent la coquille spiralée de certains Gastéropodes marins. La première partie de leur vie se passe à l'état libre, mais, à un moment donné, ils s'attaquent à un de ces mollusques, le dévorent et se mettent à sa place. Après chaque mue ils recommencent, en choisissant une nouvelle victime en rapport avec leur taille. En grandissant ainsi dans une habitation aussi irrégulière, leur corps se déforme, leur abdomen décrit une spirale, et leurs pattes ou appendices latéraux cessent d'être symétriques. Une autre conséquence de cette singulière habitude, c'est que, sur toutes les parties renfermées, l'enveloppe chitineuse cesse de se charger de matière calcaire. Il faut en conclure que l'action de la lumière est une des causes efficientes de cette calcification. Quant à l'origine de l'habitude elle-même, pour la connaître, il faudrait assister à la première prise de possession de ce domicile improvisé ; ce qui n'a pas encore eu lieu. Peut-être est-ce simplement le goût de ces animaux pour la chair de certains gastéropodes? Le jour où les zoologistes se préoccuperont davantage des mœurs des animaux, bien des découvertes viendront étendre le domaine de la science.

Les plus anciens Crustacés connus sont les *Trilobites*, qui sont déjà nombreux dans le cambrien. Leur développement, qui a pu être suivi, montre qu'il a lieu absolument comme chez les Vers. Après la séparation du segment céphalique et du segment caudal, il en apparaît successi-

vement un nombre plus ou moins considérable qui peut aller jusqu'à 18, tous nés du dernier ; sauf à la tête, ils restent tous distincts.

Après avoir pris une extension énorme dans les temps siluriens et dévoniens, les Trilobites disparaissent définitivement au début du carbonifère. Quel changement survenu dans le milieu a amené cette disparition ? nous l'ignorons. D'autres espèces de Crustacés, très volumineuses et d'une organisation élevée, les ont bientôt suivis ; mais la fossilisation imparfaite de ces êtres rend très problématique la spécification de leurs débris. La paléontologie ne nous donne donc que de rares indications relativement à la phylogénie. Du reste, à ce point de vue, les espèces vivantes suffisent largement.

C'est à l'époque carbonifère, semble-t-il, que les Crustacés ont apparu dans les eaux douces ; on y trouve en effet des Apus qui leur sont spéciaux aujourd'hui. Mais il est difficile de préciser davantage, car les zoologistes et les paléontologistes ne se sont jamais, jusqu'ici, préoccupés de l'influence des phénomènes géologiques d'émersion sur le changement de forme des espèces végétales et animales. Mes recherches sur ce sujet, malgré leur nombre et les difficultés qu'elles ont présentées, ont été peu fructueuses. Il semblerait que les auteurs n'attachent aucune importance à ces changements de milieu. Du reste, la résistance aux doctrines transformistes est telle, de la part de certains savants, qu'on s'explique cette lacune.

Les Cloportes et les Porcelets sont les deux seuls genres de Crustacés qui soient passés sur les continents. Ils sont très voisins d'espèces à pattes branchiales ; aussi est-ce à leur base que se sont creusées de petites cavités pulmonaires qui servent à la respiration.

Certains Crabes qui passent la plus grande partie de leur vie à terre, ont leur cavité branchiale remplie d'air,

et la respiration aérienne a lieu à l'aide d'excroissances arborescentes pourvues d'un réseau vasculaire et suspendues au plafond de la chambre. Chez d'autres, cette chambre peut se clore hermétiquement, et l'animal reste dans le milieu aérien, tant que l'oxygène de l'eau incluse n'a pas été consommé. Mais, pour tous, l'accouplement et la ponte se font toujours dans la mer. Il n'y a donc pas de Crabes absolument terrestres ; néanmoins cette adaptation partielle est intéressante, d'autant plus qu'on en peut suivre la progression sur un certain nombre d'espèces. En général ceux qui séjournent sur le sol émergé ont un aspect globuleux dû spécialement à la grandeur de leur chambre respiratoire ; tous les autres sont aplatis.

INSECTES.

Je range dans ce groupe les Myriapodes, les Insectes proprement dits et les Araignées qui, tous, respirent par des *trachées*. On sait que ce mode de respiration a lieu par la pénétration de l'oxygène de l'air jusqu'aux éléments cellulaires, à l'aide de tubes béants, ramifiés à l'infini, et en communication avec l'atmosphère par des ouvertures que l'animal peut clore à sa volonté.

La circulation n'a plus d'autre but que la distribution des matériaux réparateurs, et l'enlèvement des résidus de la combustion.

Tous ces animaux n'ont de commun avec les Crustacés que la couche de chitine qui recouvre toutes les surfaces limitantes, internes et externes. C'est cette couche rigide qui donne à leurs appendices latéraux la forme articulée (Arthropodes). Pour le reste ils en diffèrent complètement. Leur respiration est aérienne, comme nous venons de le voir ; ensuite la formation des divers segments qui la com-

posent a lieu immédiatement dans l'œuf et non par addition successive après la naissance. Ce point est capital, car il indique une origine tout autre que celle des Crustacés. On ne peut, en effet, douter que les animaux à trachées ne procèdent directement de vers dont l'évolution était déjà complète, l'ontogénie étant, ne l'oublions pas, l'image fidèle de la phylogénie.

Laissons de côté l'organisation qui, en dehors de l'appareil respiratoire, ne présente que des modifications de détail, et posons-nous les questions suivantes : Quels sont les Vers qui sont l'origine des trachéens ? Quand et comment a eu lieu le passage ? Nous n'avons pas la prétention de résoudre ces problèmes difficiles, qui, à notre connaissance, n'ont pas encore été abordés ; mais nous allons tâcher d'en établir les bases.

D'après tout ce qui précède, il n'est pas douteux que tous les êtres organisés terrestres ont une origine aquatique, soit qu'ils soient sortis de la mer directement, ce qui est rare, soit qu'ils aient fait, au préalable, une station plus ou moins longue dans les eaux douces. Or, tous les animaux à respiration trachéenne sont regardés par les zoologistes comme exclusivement terrestres, et, pour ceux qui ne sont pas hostiles au transformisme, la formation des trachées serait un phénomène d'adaptation. Ces deux assertions méritent d'être discutées.

Il n'est pas douteux que la plupart des Arachnides, les Myriapodes et un grand nombre d'Insectes vivent loin du milieu aquatique ; mais il est beaucoup d'espèces qui passent une partie de leur existence dans l'eau, et d'autres qui affectionnent les endroits humides. Ensuite peut-on regarder comme exclusivement terrestre un Éphémère qui, après avoir vécu deux ans dans une mare, en sort sans tube digestif et meurt aussitôt l'accouplement ? Il existe donc encore, tout au moins, une certaine affinité entre les

animaux trachéens et le milieu liquide ; c'est ce qu'on observe chez tous les êtres qui en sont sortis, et cette affinité est d'autant plus grande que leur transformation est moins complète.

Les trachées, dit-on, sont le résultat de l'adaptation à la vie aérienne. S'il en était ainsi, ce serait une exception surprenante à bien des points de vue. Tout animal, autre que les Insectes, qui, même temporairement, est appelé à vivre dans le milieu aérien, est muni d'une cavité pulmonaire qui lui sert aux échanges de gaz, et dont les parois, à cet effet, sont tapissées d'un riche réseau vasculaire. Nous l'avons vu à propos des Mollusques et des Crustacés, et nous le verrons pour plusieurs espèces de Vertébrés. Le mécanisme de la formation de ces poches est des plus simples : c'est l'invagination de la couche ectodermique dans la cavité générale du corps ; pour les animaux à transformation, elle se fait en quelques jours.

La formation d'une canalisation aussi compliquée que celle des tubes trachéens, ne peut s'être improvisée ainsi ; elle doit être le résultat d'une longue élaboration ayant débuté dans des organismes inférieurs dont la malléabilité nous a été démontrée tant de fois, et l'appareil a dû se développer en même temps qu'eux, au fur et à mesure de la différenciation des éléments cellulaires et de leur groupement en organes spéciaux. Il est donc évident que lors du passage d'un milieu à l'autre, chez les ancêtres des animaux en question, la canalisation trachéenne était préparée de longue main.

Reste à spécifier quel était le fluide qui la remplissait. Était-ce de l'air ou de l'eau ? La première hypothèse, malgré son invraisemblance apparente, a pour elle la preuve la plus démonstrative, c'est qu'elle existe actuellement. Un certain nombre de larves d'insectes ont en effet une vie *absolument* aquatique, et leur appareil trachéen est

disposé de manière à extraire l'oxygène de l'eau à l'état de gaz, et à lui transmettre l'acide carbonique recueilli dans l'intimité des tissus. Cet échange de gaz à travers une membrane, entre un milieu gazeux et un milieu liquide, est le même que celui qui a lieu dans les poumons, seulement les milieux ont changé de côté. Dans les deux cas ce sont des phénomènes osmotiques ordinaires; et rien ne s'oppose à ce que le premier ait eu lieu bien avant le passage des animaux, qui en sont le siège, sur les terrains émergés. Il rendait simplement ce passage plus facile.

L'appareil, par lequel se fait l'échange, varie suivant les espèces. Chez la larve des Phryganes, qui est un ver tubicole, ce sont les poils des mamelons ou appendices latéraux de la région renfermée dans le tube, lesquels poils sont creusés, à cet effet, d'un canal central. Les appareils des larves de Libellule et d'Éphémère sont beaucoup plus compliqués ; mais ces larves ne sont déjà plus des vers, ce sont de véritables insectes aquatiques avec des pattes, au nombre de six, une tête et un thorax où les segments sont concentrés et unifiés. Ce sont, d'une part, des espèces de branchies lamelleuses disposées en cercle dans le rectum des Libellules, au niveau de chaque segment. Les contractions rythmiques de ce rectum assurent le renouvellement de l'eau. Chez l'Éphémère, ces branchies aériennes sont extérieures et formées par les appendices foliacés des six premiers anneaux de l'abdomen. L'animal les agite continuellement pour renouveler le liquide en contact.

Ces exemples, que j'aurais pu multiplier, nous montrent bien que l'existence des trachées n'est pas incompatible avec la vie aquatique, et qu'à un moment quelconque des temps passés, les Insectes ont pu être confinés dans l'eau, sans en sortir à aucune époque de leur vie. Supposez, en effet, que les spores sexuées de l'Éphémère atteignent leur

développement avant le moment de la transformation en papillon, la fécondation aurait lieu dans l'eau et l'animal n'en sortirait plus. Cette reproduction, durant l'état larvaire, se rencontre assez fréquemment; on en a cité un exemple parmi les insectes aériens (Cécydomye), et l'Axolotl, cette larve de la salamandre Amblistome, peut se reproduire indéfiniment sans prendre la forme terrestre, qui est en réalité l'état adulte de l'animal.

Cependant, dira-t-on, on ne rencontre plus, soit dans l'eau salée, soit dans l'eau douce, de trachéens absolument aquatiques. C'est vrai, mais leur passage remonte déjà bien loin; à l'époque houillère ils étaient très nombreux, et depuis les temps secondaires il ne paraît pas s'être produit de formes nouvelles.

Mais, s'il n'existe actuellement aucun animal, insecte ou ver, à respiration trachéenne qui soit absolument confiné dans l'élément liquide, néanmoins certains Vers présentent une canalisation semblable à celle des trachées, seulement elle contient de l'eau. Ces *canaux aquifères* partent des éléments anatomiques de chaque segment par des ramifications excessivement fines qui, après une concentration progressive, s'ouvrent par deux orifices, ou *stigmates*, situés de chaque côté du segment, comme ceux des trachées des *Péripates* et des Myriapodes. Il serait donc possible que l'appareil aquifère qui caractérise plusieurs classes de Vers, après avoir servi à la respiration aquatique, soit devenu l'appareil trachéen des Insectes. Je sais bien qu'on a prétendu en faire un appareil sécréteur de l'urine semblable aux organes segmentaires. C'est possible; mais les deux fonctions ne s'excluent pas. En effet, rien ne s'oppose à ce qu'après avoir amené l'oxygène, les canaux aquifères n'entraînent, en même temps que l'acide carbonique, les autres résidus de la combustion interstitielle.

En résumé, jusqu'à preuve du contraire, on peut admettre que les Vers à canaux aquifères sont la souche des animaux trachéens, et ceux à organes segmentaires, l'origine des autres animaux du grand groupe qui nous occupe, et spécialement des Vertébrés chez lesquels on les retrouve plus ou moins modifiés.

Plusieurs espèces d'Insectes et même d'Arachnides ont fait retour au milieu liquide d'origine. Telle est, parmi les derniers, l'Argyronète dont l'histoire est si intéressante. Tout le monde connaît les grandes familles des Hydrophiles, des Dytiques et des Punaises d'eau qui vivent dans les mares et ne se servent de leurs ailes que pour changer de résidence. Mais tous, soit larve, soit animal parfait, ont besoin de venir respirer à la surface. C'est donc bien le retour et non la persistance d'un état primitif, comme pour les larves de Phrygane, d'Éphémères, etc.

Le passage de l'état de ver à l'état adulte a lieu chez le plus grand nombre des Insectes à l'aide d'une véritable *métamorphose*. Tous les organes sont renouvelés, sauf ceux qui contiennent les éléments reproducteurs, et les centres nerveux qui se déplacent et se concentrent. Ce travail considérable qui se fait, soit lentement et successivement, soit d'une manière simultanée, a pour point de départ des groupes de cellules non différenciées, restées en réserve comme des pierres d'attente, et qui trouvent dans le *corps adipeux* les matériaux nécessaires à cette rénovation. Les autres corps cellulaires qui composaient la larve sont également employés, mais après une espèce de digestion exécutée par les éléments mis en réserve. L'animal parfait, par une dernière mue, sort de son enveloppe chitineuse, entièrement renouvelé. Cette opération délicate et dangereuse est très curieuse à observer. L'exemple des Phryganes, des Libellules et des Éphémères tendrait à faire supposer que la métamorphose a été la condition indis-

pensable pour le changement de milieu ; du moins en ce qui concerne les espèces où ce phénomène s'observe.

La reproduction par spores agames, ou parthénogenèse, se rencontre chez un certain nombre d'insectes. Tels sont les Cochenilles, les Pucerons et les Phylloxeras, qui n'ont pas de métamorphose. Tous vivent du suc des plantes. Pendant la période active de la végétation, les femelles, nées d'un œuf d'hiver, donnent naissance à une suite de générations d'êtres semblables à elles ; mais à l'automne, lorsque l'alimentation diminue en quantité et en qualité, il naît des individus sexués qui s'accouplent, et les œufs d'hiver qu'ils produisent, préparent la génération agame de l'année suivante.

Chez les Pucerons, les générations parthénogénésiques se développent dans l'oviducte maternel et naissent vivantes.

Les Fourmis, les Abeilles et les Termites forment des espèces de familles que l'on ne peut mieux comparer qu'à cet assemblage de polypes simples réunis sur la même couche de corps protoplasmiques qui leur a donné naissance. On se rappelle que cette espèce de colonie se compose d'individus reproducteurs, nourriciers, tactiles et même défenseurs. Telle est à peu près la composition d'un nid de Fourmis ou de Termites et d'une ruche d'Abeilles. On y trouve des individus sexués absolument impropres à toute autre chose qu'à reproduire l'espèce, et des neutres chargés de les nourrir ainsi que la progéniture, et de construire le logement qui doit les abriter tous. Les ouvrières des Abeilles et des Fourmis sont en même temps armées pour la défense de la famille ; ce sont des femelles dont les poches à œufs se sont atrophiées. Chez les Termites, outre les travailleurs, on rencontre un certain nombre de mâles, privés des caractères de leur sexe, qui, à l'aide de leurs mâchoires énormes à bords tranchants, écartent les enne-

mis et leur font une guerre acharnée ; on leur donne le nom de soldat. Comme chez les Polypes, tous, par leur concours indispensable, assurent la perpétuation de l'espèce.

Chose intéressante à noter, les femelles d'Abeilles, avant tout accouplement, pondent des œufs d'où sortiront des mâles. C'est une parthénogenèse partielle. Après la fécondation, tous les œufs donnent naissance à des femelles complètes ou non, suivant la nourriture que les ouvrières jugent à propos de leur donner. C'est ainsi que chez tous les animaux, depuis les plus simples jusqu'aux plus perfectionnés, les mêmes phénomènes se représentent toujours sous l'influence de l'alimentation. Un arbre bien nourri produit des spores agames adhérentes, d'où naissent des individus nourriciers ou à feuilles vertes ; d'autres, chargés de spores sexuées, ne vivent, malgré leur délicatesse, que grâce aux envois que leur adressent leurs voisins stériles ; enfin, il en est qui, encore plus mal partagés, forment des épines d'autant plus nombreuses que le terrain contient moins d'éléments nutritifs. Dans les colonies de Polypes, au centre, se trouvent les nourriciers grands et vigoureux; autour d'eux sont les tactiles et les reproducteurs qui vivent de leurs largesses, et les plus éloignés, n'ayant que les restes, sont réduits à l'état de simples piquants. Enfin, chez les Termites, suivant la qualité et la quantité de la nourriture, les œufs donnent naissance à des individus mâles ou femelles, ou à des individus stériles, ouvriers nourrisseurs et constructeurs, ou simples soldats. C'est donc la physico-chimie qui détermine toutes ces formes.

J'ai dit plus haut que les Insectes étaient les animaux polyzoïques les plus perfectionnés ; je n'en excepte pas les Vertébrés même supérieurs. En effet, on ne rencontre *nulle* part ailleurs de cellules nerveuses et musculaires

aussi profondément différenciées ; nulle part les sensations les plus délicates ne sont aussi bien perçues et retenues, les mouvements plus précis et plus rapides. C'est pendant le travail organique de la métamorphose des Insectes, que les appareils nerveux se perfectionnent et se débarrassent du protoplasma indifférent qui les encombrait durant la période larvaire.

Ces éléments sont peu nombreux, il est vrai, et les résultats qu'ils produisent, peu compliqués, mais c'est à leur différenciation maximum que sont dues ces manifestations qui nous surprennent, et cette adresse que nous avons peine à comprendre. Les cellules nerveuses perçoivent, par l'entremise d'organes microscopiques, des sensations des plus délicates qui nous échappent complètement. Lisez les observations recueillies sur les Fourmis, les Abeilles et les Araignées et vous serez surpris des idées que toutes ces sensations inconnues leur inspirent. Le cadre de ces idées est restreint parce que les éléments sur lesquels elles se fixent, sont peu nombreux ; mais il suffit pour démontrer que l'intelligence est aussi bien la propriété du cerveau d'une fourmi que de celui d'un homme : elles ont la qualité et nous la quantité.

Lorsqu'on considère des organismes dont les éléments sont aussi profondément différenciés, on doit se demander par quel artifice il peut se produire des spores agames ou sexuées, qui, pour être le point de départ d'un nouvel individu, doivent réunir dans leur corps protoplasmique toutes les substances nécessaires à la manifestation de la vie. Dans un polype, tant de cellules sont encore complètes que la première venue peut devenir reproductrice ; mais il n'en est point ainsi chez un insecte. Or, voici ce qui se passe. Dès le début de la segmentation de l'œuf, cet amibe primitif, même avant pour certaines espèces, il s'en détache un *certain nombre de* cellules, ou spores, sexuées ou non,

qui restent en dehors de tout travail ultérieur d'organisation. Elles demeurent là, enclavées, vivant à l'état de parasites aux dépens de la masse commune et s'y faisant une place particulière. Tant que l'organisation est incomplète, leur alimentation est forcément restreinte; mais, dès que l'achèvement approche, elles entrent en action, se segmentent à leur tour, et alors se manifestent les phénomènes qui, chez l'Homme, portent le nom de puberté. En somme, plus la différenciation est précoce, plus les spores se forment de bonne heure. C'est la portion de levain que le boulanger met à part avant de faire son pain, et qu'il réserve pour la fournée du lendemain. Quel que soit l'animal, ver, moucheron ou homme, c'est toujours la gastrula, le polype initial qui fournit la spore reproductrice.

VERTÉBRÉS.

Caractères généraux. — Le point de départ de tout vertébré est une gastrula qui se multiplie, comme chez le ver, par segments disposés en série linéaire. Le fait a été constaté chez le poisson comme chez le reptile, chez l'oiseau comme chez le mammifère ; il est incontestable. L'organisation se poursuit ensuite comme chez le ver, le mollusque, le crustacé et l'insecte. Néanmoins, chose vraiment surprenante, le résultat est absolument inverse.

En faisant la coupe transversale d'un des animaux que je viens d'énumérer en dernier lieu, on rencontre, en partant de la région dorsale, d'abord le centre circulatoire. Le fait est facile à constater sur le ver à soie; son vaisseau dorsal bat suivant un rythme régulier. Puis viennent successivement le tube digestif, le cordon de cellules connectives et enfin la chaîne des ganglions nerveux située immédiatement sous la couche musculaire de l'abdomen et du

thorax. La coupe du vertébré montre, tout au contraire, d'abord la chaîne nerveuse, puis la série des disques vertébraux qui représente le cordon de cellules connectives ou corde dorsale, ensuite le tube digestif et enfin le cœur placé sous la paroi antérieure du thorax.

Le vertébré est donc un invertébré à l'envers. La cause en est facile à saisir : elle réside dans la direction de la bouche qui, au lieu de s'ouvrir du côté normal, s'est trouvée placée dans le sens opposé. Alors les membres, ces appendices latéraux, modifiés chez les espèces supérieures, partant de la ligne médiane, comme chez les grands Crustacés et les Insectes, ont dû prendre une direction opposée. Leur première partie est restée confondue avec les parois latérales du tronc pour former l'épaule et le bassin, et les autres, restés libres, ont soutenu l'animal dans sa nouvelle position. Il est évident que, sans cette espèce de demi-volte, il n'aurait pu chercher et prendre sa nourriture. Tout cela est clair et intelligible pour tout le monde. L'inconnu, c'est la cause du changement de direction de l'orifice buccal. Sans entrer dans des détails que ne comporte pas le plan de cet ouvrage, nous allons tâcher d'exposer aussi nettement que possible l'état de la science sur cette importante question, en réalité du ressort de la mécanique.

On se rappelle que, chez le ver et ses dérivés, l'ectoderme du côté ventral prolifère de chaque côté de la ligne médiane deux cordons de cellules qui se chargent de matière nerveuse, puis se groupent en autant de ganglions qu'il y a de segments, tous reliés entre eux par des filets formés de la substance même des cellules. Souvent les deux chaînes ganglionnaires se réunissent sur la ligne médiane, mais la bouche, qui occupe le second segment, se trouve toujours contournée par la commissure des deux premiers groupes nerveux. C'est ce qu'on appelle le collier œsopha-

gien, que l'on constate chez tous les Mollusques, Vers, Crustacés et Insectes. Le ganglion supérieur porte les nerfs des sens spéciaux, c'est le cerveau ; le second, dans lequel se concentrent souvent les restes de la chaîne, préside aux fonctions des organes thoraciques, et ainsi de suite.

Chez le vertébré, l'organisation du système nerveux a lieu par le même procédé; seulement les cellules, au lieu de se disposer en une chaîne de ganglions, forment deux cordons continus qui se réunissent sur la ligne médiane pour constituer la moelle épinière et le cerveau. Dans ces conditions, la bouche était forcément oblitérée et devait se refaire du côté opposé. Telle a été, du moins, l'opinion émise par les zoologistes. Elle paraissait d'autant plus vraisemblable qu'on croyait suivre dans le cerveau le trajet de l'œsophage primitif; il en était même resté, disait-on, une partie pincée entre la base du crâne et les centres nerveux. On expliquait ainsi l'existence du *corps pituitaire*. Mais l'embryologie n'avait pas dit son dernier mot.

En étudiant de près, heure par heure, le développement de certains œufs de vertébrés, on reconnut que les cordons de cellules nerveuses contournent effectivement la bouche de la série linéaire des gastrulas, comme chez le ver, l'insecte, etc., que ces deux cordons forment une gouttière, dont les bords se réunissent pour constituer un tube, dans lequel cette bouche s'ouvre. Dans ces conditions elle s'oblitère, pour se reformer plus tard du côté opposé. La théorie des zoologistes semblait donc confirmée. Il n'en était rien, car l'extrémité sur laquelle ces phénomènes se passent, ne devient pas la tête du vertébré, mais bien son extrémité postérieure, et la prétendue bouche de nouvelle formation est en réalité l'anus. Qu'arrive-t-il donc dans un embryon de vertébré pour amener un semblable bouleversement? Simplement une concentration des éléments nerveux vers une extrémité, comme chez les in-

rtébrés ; seulement, peut-être sous l'influence de l'occlu-on de la bouche primitive, elle a lieu vers l'extrémité posée, et le dernier segment porte le cerveau autour quel se développeront les organes des sens spéciaux : vue, ïe et odorat.

Ce changement de fonction des segments ne doit pas ous surprendre, puisque, primitivement, tous sont aptes les remplir. Certains vers nous en donnent des exemples appants. Les *Amphicorines* sont des Vers tubicoles ; orsqu'elles sont dans leur tube, l'extrémité buccale qui en ort, armée de nombreuses tentacules, arrête les aliments au passage. Mais, si, comme il arrive souvent, l'animal sort, c'est le segment anal qui, à l'aide des yeux dont il est muni, dirige toute la colonie, et la tête nourricière aveugle suit la dernière, devenant en réalité la queue.

C'est précisément ce qui arrive chez le vertébré, avec cette différence que, la véritable bouche étant close, l'ori-fice qui se pratique à l'extrémité opposée, au lieu d'être l'anus, comme chez les invertébrés, sert au contraire à l'introduction de la nourriture. L'inversion est plus com-plète que chez l'Amphicorine, et voilà tout. Il va sans dire que la nouvelle ouverture située au niveau de l'avant-der-nier segment ne peut pas traverser les centres nerveux et se ait en deçà.

Ainsi, le vertébré est un invertébré absolument ren-ersé ; la tête de celui-ci devient la queue du premier, on dos, le ventre, et réciproquement. Tels sont les ré-ultats les plus récents de l'observation. Sont-ils défini-ifs ? C'est possible ; mais si d'autres observations viennent es modifier, nous n'aurons qu'à nous en réjouir, puis-u'elles nous rapprocheront davantage de la vérité. Quoi u'il en soit, tous ces changements de forme, de fonc-ions, etc., ne sont que les résultats de phénomènes phy-ico-chimiques.

Avant de suivre l'évolution des Vertébrés, jetons un coup d'œil sur les caractères organiques qui leur sont propres.

Les plus importants sont fournis par le cordon de cellules connectives ou indifférentes que nous avons signalé, chez l'invertébré, entre la chaîne ganglionnaire et le tube digestif. Son rôle y est si effacé qu'on ne l'a découvert que dans ces derniers temps ; chez le vertébré, il prend au contraire un grand développement, et constitue ce que l'on appelle la *corde dorsale*. Dans l'évolution phylogénique, comme dans l'ontogénie, elle s'incruste progressivement de calcaire ; mais elle ne forme jamais une colonne rigide : les contractions des muscles longitudinaux de chaque segment, qui s'y insèrent, la brisent en autant de fragments. L'animal se trouve ainsi solidifié sans perdre sa souplesse.

Du côté de la bouche primitive, la corde dorsale ainsi que les cellules musculaires et l'ectoderme qui y adhèrent, continuent à se développer par segments successifs, et constituent la queue des vertébrés, qui n'a aucun analogue chez les animaux dont nous avons parlé précédemment ; on donne improprement ce nom, chez les Vers et les Crustacés, à la région abdominale. La partie caudale de la corde dorsale s'ossifie comme le reste, et les muscles segmentaires qui y adhèrent, en forment autant de fragments. Cette multiplication de petits fragments, auxquels reste étranger l'endoderme ou tube digestif, clos déjà lors de leur formation, semble démontrer que cette extrémité est bien la région céphalique des invertébrés, où nous avons vu les segments s'entasser et devenir de plus en plus courts. Du côté des grands centres nerveux, la corde dorsale ne les dépasse pas ; les segments y sont mal limités, comme on l'observe à l'extrémité postérieure des invertébrés.

La ligne de séparation de tous les segments est indi-

quée par une couche de cellules connectives indifférentes qui, le plus souvent, s'imprègnent de substance calcaire, autrement dit, s'ossifient sous forme d'arcades qui adhèrent plus ou moins intimement à la corde dorsale. Ce sont, du côté ventral, en partant de la tête, les deux arcades maxillaires entre lesquelles s'ouvre la bouche ; puis viennent successivement les arcades branchiales des poissons, les arcs costaux thoraciques, et ceux de l'abdomen que l'on observe seulement chez les poissons et les reptiles, leurs descendants directs. Du côté dorsal, les segments sont limités par des arcs qui, unis aux fragments ossifiés de la corde dorsale, constituent les *vertèbres*, et leur ensemble forme le canal vertébral qui protège la série des centres nerveux. Cette protection est complétée, pour les renflements céphaliques, par des plaques osseuses formées aux dépens du tissu connectif sous-ectodermique.

Tous ces arcs réunis chacun à chacun forment un cercle complet. Les muscles longitudinaux sous-ectodermiques les réunissent et tendent à les rapprocher. Lorsque ceux de la région antérieure agissent isolément, le tronc se fléchit ; il se redresse, lorsque ceux de la région dorsale entrent en contraction ; leur action simultanée maintient le corps dans la rectitude. Les flexions latérales se produisent de la même manière.

Le point d'appui de tous ces leviers courbes est la série des fragments ossifiés de la corde dorsale, c'est-à-dire la colonne vertébrale.

D'après tout ce qui précède, il est évident que la limite des segments n'est pas indiquée par le point de contact des vertèbres, mais par l'articulation des côtes avec elles. La re cherche du nombre de corps vertébraux compris dans la base du crâne, qui a tant occupé les anatomistes, ne présente donc aucun intérêt ; on peut même dire que c'est un non-sens.

Les appendices latéraux des segments ont disparu des points qu'ils occupaient chez le ver, et se sont concentrés aux extrémités du tronc en quantité plus ou moins considérable, groupés de chaque côté, à peu près par parties égales, sous forme de quatre membres, dont nous avons indiqué plus haut la direction. En général, ces membres sont d'autant plus longs que leur concentration est plus prononcée. Chez les serpents, ils disparaissent entièrement. Tous leurs éléments naissent par multiplication de cellules du voisinage de la chaine nerveuse, en commençant par l'extrémité digitale.

Les organes des sens sont concentrés sur le segment céphalique, dont la limite est l'arcade maxillaire supérieure. Ils sont tous plus ou moins sessiles, excepté celui du tact. Celui-ci est représenté par deux espèces de tentacules qui, réunis sur la ligne médiane, continuent l'axe du corps et s'appliquent sur la paroi ventrale du segment qui leur a donné naissance. Leur extrémité libre forme l'appendice nasal, démesurément long chez l'Éléphant.

Entre la paroi ectodermique du tronc et l'endoderme ou tube digestif, se trouve un vide plus ou moins grand, rempli par les organes relatifs à la nutrition.

La série continue des centres nerveux nait par une multiplication de cellules de l'ectoderme, comme chez tous les animaux gastrulaires. Ces cellules accumulent la matière nerveuse en même temps que d'autres, nées entre les deux couches primitives, accaparent la substance contractile. Cependant, la différenciation de ces éléments de l'amibe primitif ne détruit pas l'affinité qui les avait primitivement réunis : aussi, cellules musculaires et cellules ectodermiques restent-elles toujours en communication avec les cellules nerveuses ; et les filets qui les rattachent à leurs centres respectifs indiquent le trajet qu'ils ont suivi dans [d]iverses migrations. C'est ainsi que les extrémités

des membres, quelle que soit leur longueur, contiennent des nerfs sensitifs et moteurs.

L'endoderme, en se séparant de l'ectoderme, a emmené un grand nombre de petits groupes d'appareils nerveux et de cellules musculaires, qui se sont multipliés en même temps que lui ; mais ces appareils sont toujours restés en communication avec les centres, par des filets spéciaux qui ont subi divers allongements.

En somme, les centres nerveux médullaires et cérébraux communiquent entre eux et avec tous les éléments du reste du corps ; ce sont ces communications qui fusionnent tous les individus segmentaires, et en forment un individu unique. Chez les Vers, où cette fusion est restreinte et réduite à quelques communications de voisinage, on s'explique la possibilité de subdiviser l'individu pour en faire de nouveaux animaux. Les Vertébrés, à aucun degré de leur évolution, ne peuvent subir de pareilles mutilations sans que la mort de tous les segments n'en résulte forcément. Du reste, il en est de même pour les Mollusques, Crustacés, etc.

La concentration des appareils nerveux vers l'extrémité céphalique, qui apparaît dès les premières phases du développement, se continue encore longtemps. Ainsi, dans les espèces les plus élevées de ce grand groupe, le canal vertébral de l'adulte est vide dans sa partie postérieure ; on n'y trouve que des paquets de nerfs qui se sont allongés pour suivre les cellules dont ils émanent. Chez l'Homme, par exemple, tous les nerfs présentent une obliquité de haut en bas et de dedans en dehors, qui se trouve encore exagérée par un mouvement inverse d'un grand nombre d'organes, comme nous l'indiquerons plus loin en traitant de l'évolution de l'embranchement.

Dans la colonne cérébro-médullaire des Vertébrés, les appareils nerveux *simples* sont tous orientés de la même

manière. En arrière on trouve les cellules réceptrices, et en avant, les cellules motrices; leurs filets respectifs sortent isolément du canal vertébral, et ce n'est qu'en dehors qu'ils se groupent pour gagner les régions qui sont sous leur dépendance commune.

Aussitôt leur formation, les cellules nerveuses contiennent deux ordres de substances bien distincts : l'un qui constitue l'appareil de physique où se développe la nervosité, et l'autre qui, d'une part, permet aux cellules réceptrices d'accumuler le courant d'éther, de percevoir la sensation et d'en conserver le souvenir, et, d'autre part, met les cellules motrices en mesure de retenir le courant ou de ne le laisser passer que dans des proportions voulues. Ces deux ordres de substances ne sont pas inséparables, et le second, aussi bien dans l'évolution phylogénique que dans l'ontogénie, tend continuellement à gagner le ganglion antérieur, c'est-à-dire le cerveau. Chez les Vertébrés supérieurs, on ne le trouve pas ailleurs. Quant aux appareils nerveux simples que le tube digestif a entraînés dans son mouvement de retrait, leurs cellules ne sont jamais ni sensitives, ni volitives.

Pour bien comprendre cette différenciation des cellules nerveuses entre elles, des exemples sont nécessaires. Coupez un ver de terre en plusieurs tronçons, chacun d'eux s'agitera spontanément ou sous l'influence d'un contact, et manifestera sa souffrance par ses contorsions. Mais si vous tranchez brusquement la tête à une grenouille, son corps reste immobile, et cependant elle n'est pas morte. Pincez-lui la patte légèrement, elle la retire ; pincez-la plus fort, elle exécute un saut ; touchez avec un acide un point de la peau du tronc, elle y porte l'extrémité du membre le plus voisin. Mais aussitôt le mouvement exécuté, elle rentre dans un repos absolu. Elle n'a donc ni senti, ni voulu. On obtient les mêmes résultats en enlevant

les hémisphères cérébraux d'une poule, et, si l'opération a été faite avec précaution, l'animal peut survivre, pourvu qu'on le fasse manger. Pour cela, on n'a qu'à mettre l'aliment dans son bec, et il l'avale aussitôt mécaniquement. Tous ces phénomènes, produits par l'appareil purement physique de la nervosité, ont reçu le nom de *réflexes*, parce que le courant nerveux semble réfléchi par les cellules, sans aucun arrêt.

Chez tous les Vertébrés, les substances qui causent les sensations et les volitions, n'arrivent pas d'emblée aux hémisphères cérébraux. Chez la Carpe, où ces organes sont d'ailleurs très petits, leur ablation modifie très peu ses allures ; sa sensibilité, sa mémoire et sa volonté ne sont pas sensiblement altérées. Elles siègent donc plus en arrière ; cependant la moelle épinière n'en n'offre plus de trace, c'est comme chez la Grenouille.

Ainsi, il est manifeste que la sensibilité, la mémoire et la volonté, c'est-à-dire l'intelligence, ont pour cause la présence, dans les appareils nerveux simples, de substances particulières, non encore isolées expérimentalement. On voit par là l'importance des vivisections, et l'on comprend pourquoi les partisans des doctrines philosophico-religieuses tiennent tant à les proscrire.

Les appareils nerveux simples du centre cérébral, outre les cellules douées de sensibilité et de mémoire, contiennent d'autres éléments analogues, sur lesquels se fixent les résultats des sensations comparées, c'est-à-dire les idées. Elles communiquent également avec les cellules motrices volitives et sont d'autant plus nombreuses qu'on s'élève davantage dans les différentes ramifications de l'embranchement. Rares ou nulles chez les Poissons et les Reptiles, elles atteignent leur maximum chez l'Homme. Comme tous les autres éléments nerveux, ces cellules peuvent être plus ou moins différenciées; c'est ce qui rend

les idées précises ou confuses. Nous avons vu que, chez les Insectes, leur qualité supplée jusqu'à un certain point au nombre.

Il est vrai que la détermination anatomique de ces cellules à idées n'a pas encore été faite; mais au point de vue physiologique leur existence est incontestable. Du reste, les éléments nerveux de l'écorce grise des hémisphères sont si nombreux et si divers que, lorsque leurs fonctions respectives seront spécifiées, les idées auront certainement les leurs.

Ces données générales sur les Vertébrés complètent ce que nous avons dit précédemment sur les autres animaux polyzoïques à segments disposés en série linéaire, et vont nous permettre de suivre rapidement l'évolution de ce groupe important.

Tuniciers. — Ces animaux, tous marins, représentent l'aurore de l'embranchement des Vertébrés. Ils ont tous été primitivement fixés au sol à l'état adulte; plusieurs espèces sont devenues ultérieurement mobiles, sans perdre les caractères du groupe. C'est ce que nous avons précédemment observé chez les Échinodermes. Leur aspect rappelle celui des Bryozoaires. On peut en effet se représenter l'animal comme un tube digestif recourbé en U, renfermé dans une poche ou tunique (1), à laquelle il adhère et qui présente deux orifices, l'un pour l'entrée et l'autre pour la sortie du liquide ambiant; mais cette ressemblance est trompeuse. Le tube digestif des Tuniciers est un animal complet, et son enveloppe, une expansion de son ecto-

(1) On a découvert, dans cette espèce de manteau des Tuniciers, une substance à laquelle on a donné le nom de *tunicine* ou *cellulose animale*. Elle a, en effet, un grand nombre des propriétés de la cellulose végétale; mais l'identité n'est pas parfaite. En tout cas, cette analogie, si accentuée qu'elle soit, est un simple accident chimique, dont on ne peut tirer aucune induction sur l'anté-

derme, tandis que, chez les Bryozoaires, l'animal est constitué par la poche elle-même, qui donne naissance non seulement au canal alimentaire, mais aux sacs à spores sexuées et aux muscles qui font mouvoir le premier.

C'est seulement par la première partie de son développement que le Tunicier se rattache avec évidence aux Vertébrés. La gastrula primitive paraît simple, du moins on n'y a, jusqu'ici, observé aucune trace de segment. Sur une de ses parois et parallèlement à son grand axe, se montrent bientôt une corde dorsale et une gouttière nerveuse dont l'une des extrémités entoure la bouche. Cette gouttière l'obture en se transformant en un tube qui présente à l'autre extrémité un renflement cérébroïde. Cette première phase est caractéristique : l'extrémité buccale de la gastrula devient caudale et réciproquement. Mais, comme le tube nerveux n'atteint pas le fond de la cavité digestive, la nouvelle bouche se fait comme chez les Insectes et les Crustacés, c'est-à-dire dans le dos du vertébré; l'œil se dirige du même côté.

Le petit animal ainsi formé est donc pour ainsi dire à cheval sur les deux embranchements. Sa forme rappelle assez celle d'un têtard de grenouille, dont il a du reste les allures. Mais bientôt il se fixe par la région gastrique, et, au fur à mesure que la poche se développe, les cellules nerveuses du tube médullaire se condensent en plusieurs ganglions dont le plus volumineux correspond à la vésicule cérébrale ; puis le reste de la région caudale se résorbe, et la phase polypoïde commence. Cependant le Tunicier adulte

riorité de l'un ou l'autre règne. Il était néanmoins intéressant de le signaler, car, chez tous les Vertébrés, et peut-être même chez tous les animaux, sauf ceux à *chitine*, la tunicine est remplacée par la *kératine* qui forme l'enveloppe de toutes les cellules épidermiques et *cornes*. Elle contient 5 pour 100 de soufre et se dissont en partie dans les alcalis.

présente encore un caractère spécial aux Vertébrés : la première partie du tube digestif est le siège de l'hématose. Elle est percée de nombreuses ouvertures que l'eau traverse continuellement, sous l'influence du mouvement des cils vibratiles dont elles sont tapissées. De la paroi de cette espèce de corbeille se détache un tentacule (endostyle) qui va sans cesse de la bouche à l'entrée de l'œsophage, pour y porter la proie que son enduit visqueux a arrêtée au passage.

Comme les Polypes, ces animaux peuvent se reproduire par spores adhérentes agames ; il en résulte des agglomérations d'individus juxtaposés et réunis plus ou moins intimement par le manteau. Dans quelques espèces, la même enveloppe renferme cinq ou six Ascidies (1) qui confondent leur intestin terminal en un seul cloaque central ; mais la fusion ne va jamais au delà. Comme en définitive les Tuniciers adultes sont profondément différenciés, la reproduction agame n'a lieu que dans le jeune âge ; elle se fait même quelquefois dans l'œuf d'où sort toute une colonie.

Ces animaux, complètement mous, n'ont laissé aucune trace dans les dépôts géologiques.

Poissons. — Par les Poissons débute véritablement l'embranchement des Vertébrés ; ils apparaissent les premiers dans l'ordre chronologique comme dans la marche évolutive ascendante. Le milieu aquatique, salé ou non, est leur habitat exclusif, sauf quelques exceptions accidentelles dont nous parlerons plus loin. La forme du corps est en rapport avec la position qu'ils occupent dans le milieu. Les poissons qui restent en suspens dans l'eau, qu'on les regarde de face ou de profil, ont en général une forme elliptique plus ou moins allongée. Ceux qui s'appuient le

(1) Ἀσκίδιον, utricule, de ἀσκός, outre.

plus souvent sur le sol présentent un aplatissement, de haut en bas, ou bilatéral, souvent très accentué; enfin, lorsqu'ils y pénètrent pour chercher leur nourriture, leur corps présente une élongation vermiforme : c'est un retour à la conformation primitive ou peut-être sa persistance.

L'aplatissement bilatéral des Soles, Turbots, et autres Pleuronectes mérite de nous arrêter. Les jeunes individus, régulièrement conformés, nagent en haute mer avec facilité; mais, le diamètre vertical s'accroissant beaucoup plus que le transversal, l'équilibre devient instable et, à un moment donné, ils tombent au fond de l'eau sur l'un des côtés. Cette chute est définitive; ils ne se relèvent plus. Dans ces nouvelles conditions, la disposition du corps en lame s'accentue avec l'âge et s'accompagne d'un phénomène des plus curieux. Les yeux des Pleuronectes sont tout d'abord placés de chaque côté de la tête, comme chez tous les animaux à symétrie bilatérale, formés de gastrulas en série linéaire; mais, une fois la chute sur le sol opérée, on voit l'œil appliqué sur la terre, se déplacer graduellement, contourner le crâne et venir prendre place à côté de son collègue. C'est un phénomène d'héliotropisme comme ceux que nous avons signalés à propos des Végétaux; il est encore exagéré par l'affinité spéciale de l'organe pour les vibrations lumineuses de l'éther. Du reste, la lumière exerce également son action sur la partie de la surface cutanée qui s'y trouve exposée; elle prend une teinte plus ou moins sombre, qui tranche avec la blancheur du côté resté à l'abri, ce qui ne peut être que le résultat de combinaisons chimiques sollicitées par la lumière (1). Nous ne

(1) L'action de la lumière sur les éléments chimiques des corps vivants est beaucoup plus complexe qu'on ne l'a cru longtemps. Ainsi, le coup de soleil sur la peau de l'homme est dû, non à la chaleur, mais aux vibrations lumineuses. Le fait vient d'être démontré expérimentalement, à Moscou, par M. Maklakoff (mai 1889).

sortons donc jamais du domaine de la physico-chimie.

Chez les Vers, les Crustacés et les Insectes, les appendices latéraux de chaque segment naissent dans le voisinage de la chaîne nerveuse ganglionnaire et ne s'en éloignent guère; lorsqu'ils sont concentrés, ils partent même de la ligne médiane ventrale (Homard, Hanneton, etc.). Chez les Poissons, ils ont gagné tout d'abord cette ligne médiane, devenue dorsale, pour former la nageoire impaire continue des Lamproies, des Anguilles et de tous les poissons qui sortent de l'œuf. Cette série linéaire d'appendices contourne l'extrémité caudale et ne s'arrête qu'à l'anus; quant au point de départ, il est toujours plus ou moins éloigné de l'extrémité céphalique, particularité que peut expliquer l'extension jusqu'à l'anus.

Les zoologistes ont été et sont encore fort intrigués au sujet de la signification de la *ligne latérale* des poissons, formée par une série de petites poches réunies par un canal commun. On les a prises d'abord pour des glandes cutanées; puis, comme chaque segment de l'animal y fournit un nerf terminé par une extrémité tronquée, en forme de bouton, on y a vu les organes d'un sens spécial, mais indéterminé. En présence de ces caractères ambigus, ne serait-il pas permis d'y voir la trace des appendices latéraux déplacés. Cette idée serait d'autant plus plausible que ces appendices représentent les tentacules de chacune des gastrulas ou segments qui composent les animaux dont nous nous occupons. Le nerf spécial serait resté en place; l'appendice seul se serait déplacé.

à l'aide de puissants appareils électriques lumineux analogues à ceux de la tour Eiffel; de véritables coups de soleil ont été causés, à courte distance, par un arc voltaïque, dont l'intensité lumineuse égalait au moins six millions de carcels, bien que l'élévation de température produite, dépassât à peine de *deux* degrés celle de l'air ambiant, à un mètre du foyer.

Quoi qu'il en soit, dans la phylogénie comme dans l'ontogénie, la série linéaire de ces appendices médians présente une diminution de longueur en avant, lorsqu'apparaissent les membres antérieurs, comme chez l'Anguille, et une solution de continuité en arrière, aussitôt la formation des membres postérieurs, comme on peut l'observer chez la Tanche, la Carpe, etc. Cette réduction de la nageoire impaire est en raison directe de l'importance des membres : elle est presque complète chez la Raie, dont les nageoires pectorales sont si monstrueusement développées. En outre, ces appendices médians peuvent se condenser de manière à former des épines, comme on l'observe sur le Maquereau et surtout sur l'Épinoche, dont le membre postérieur forme un simple piquant mobile dans sa partie libre.

Je dis partie libre, car, comme je l'ai signalé dans les généralités sur les Vertébrés, les membres, nés des parties latérales des centres nerveux, restent accolés au tronc dans leur première partie et ne deviennent libres que vers la région ventrale.

Les derniers segments de la queue ont présenté des modifications intéressantes dans l'évolution générale de la classe des Poissons. D'abord directs, comme chez l'Anguille, ils se sont relevés sous l'influence du développement exagéré des premiers appendices médians inférieurs (Esturgeon); enfin ils se sont condensés en une espèce de croupion, comme on l'observe chez tous les Poissons osseux dont la nageoire caudale présente une dépression médiane produite par cette fusion.

La masse du corps des Poissons est formée en majeure partie par la couche musculaire sous-cutanée des segments réunis ; c'est par elle que la locomotion a lieu ; l'intervention des membres et appendices ne produit que des *résultats secondaires*.

La cavité thoraco-abdominale contient le tube digestif et les glandes, ainsi que les organes urinaires et sexuels; le cœur et les organes respiratoires sont situés dans le cou. Les branchies sont des espèces de franges qui bordent les arcs osseux de la région. L'eau entre par la bouche et sort par des orifices latéraux, sous l'influence de mouvements rythmiques de déglutition. Les aliments traversent la chambre branchiale pour gagner l'œsophage, et la proie vivante est retenue par des dents indépendantes des os et répandues sur la surface de la cavité buccale et sur le bord des mâchoires.

La série continue des centres nerveux est rectiligne et la moelle épinière présente un volume en rapport avec la masse des muscles à faire mouvoir; mais la partie cérébrale, qui débute, chez l'embryon de tous les Vertébrés, par trois renflements du canal médullaire, est peu développée. La première vésicule a surtout peu d'importance; nous avons vu en effet que, chez la Carpe, l'ablation des hémisphères cérébraux qui en naissent, trouble peu la manière de vivre de l'animal. La seconde, la plus volumineuse, paraît le siège de la sensibilité, de la mémoire et de la volition. Les idées qui résultent des sensations perçues et retenues sont très limitées, sauf de rares exceptions; les cellules qui en sont le siège lui donnent alors un volume relativement plus considérable. La troisième vésicule ou celle du cervelet joue un rôle secondaire, car le concours que cette masse d'appareils nerveux élémentaires fournit à la moelle, est peu important, la station normale n'étant pas difficile à maintenir. Par la suite, le cervelet s'accroît en même temps que les difficultés engendrées par l'attitude habituelle des autres Vertébrés.

Les organes des sens sont en général bien développés, surtout celui de l'odorat, et parfaitement appropriés aux circonstances de milieu. Les sexes sont séparés, à de rares

exceptions près ; la fécondation est extérieure chez les uns, et a lieu par accouplement chez les autres.

Le plus inférieur de tous les Poissons est l'*Amphioxus*, qui habite le sable de certaines plages; aussi, pour cette raison, l'avait-on confondu pendant longtemps avec les vers arénicoles. Mais c'est un véritable vertébré poisson, avec des caractères d'infériorité, tels que l'absence d'ossification de la corde dorsale, l'uniformité de développement des centres nerveux, dont l'extrémité céphalique se distingue à peine de la moelle, etc. Son appareil branchial, situé à l'entrée du tube digestif, est presque identique à celui des Tuniciers. (Voir p. 389.)

Viennent ensuite les Lamproies ou *Cyclostomes* qui ont un squelette cartilagineux, un cerveau et des organes des sens mieux développés que chez l'Amphioxus, mais les membres sont toujours absents.

A partir de cette famille, la classe des Poissons se divise en deux groupes bien nettement différenciés : les *osseux* et les *cartilagineux*.

Les premiers sont les Poissons par excellence, auxquels s'appliquent spécialement les caractères généraux que nous avons énumérés ci-dessus. Les organes des sens sont au complet; celui du tact est localisé, comme chez tous les Vertébrés, au pourtour de la bouche, souvent garnie de quelques tentacules ou barbillons.

On commence à les rencontrer, dans les couches géologiques, à partir du silurien supérieur. Bien que leur souche ait dû avoir une forme analogue à celle des Cyclostomes, ils apparaissent d'emblée avec une organisation très avancée; les membres sont bien développés et les nageoires impaires très réduites. Leur conservation est due à une carapace calcifiée qui recouvre la tête et le tronc; celle de la queue est fractionnée par les mouvements de cet organe. *Il est évident* que les premières formes, dépour-

manière. En arrière on trouve les cellules réceptrices, et en avant, les cellules motrices ; leurs filets respectifs sortent isolément du canal vertébral, et ce n'est qu'en dehors qu'ils se groupent pour gagner les régions qui sont sous leur dépendance commune.

Aussitôt leur formation, les cellules nerveuses contiennent deux ordres de substances bien distincts : l'un qui constitue l'appareil de physique où se développe la nervosité, et l'autre qui, d'une part, permet aux cellules réceptrices d'accumuler le courant d'éther, de percevoir la sensation et d'en conserver le souvenir, et, d'autre part, met les cellules motrices en mesure de retenir le courant ou de ne le laisser passer que dans des proportions voulues. Ces deux ordres de substances ne sont pas inséparables, et le second, aussi bien dans l'évolution phylogénique que dans l'ontogénie, tend continuellement à gagner le ganglion antérieur, c'est-à-dire le cerveau. Chez les Vertébrés supérieurs, on ne le trouve pas ailleurs. Quant aux appareils nerveux simples que le tube digestif a entraînés dans son mouvement de retrait, leurs cellules ne sont jamais ni sensitives, ni volitives.

Pour bien comprendre cette différenciation des cellules nerveuses entre elles, des exemples sont nécessaires. Coupez un ver de terre en plusieurs tronçons, chacun d'eux s'agitera spontanément ou sous l'influence d'un contact, et manifestera sa souffrance par ses contorsions. Mais si vous tranchez brusquement la tête à une grenouille, son corps reste immobile, et cependant elle n'est pas morte. Pincez-lui la patte légèrement, elle la retire ; pincez-la plus fort, elle exécute un saut ; touchez avec un acide un point de la peau du tronc, elle y porte l'extrémité du membre le plus voisin. Mais aussitôt le mouvement exécuté, elle rentre dans un repos absolu. Elle n'a donc ni *senti*, ni voulu. On obtient les mêmes résultats en enlevant

les hémisphères cérébraux d'une poule, et, si l'opération a été faite avec précaution, l'animal peut survivre, pourvu qu'on le fasse manger. Pour cela, on n'a qu'à mettre l'aliment dans son bec, et il l'avale aussitôt mécaniquement. Tous ces phénomènes, produits par l'appareil purement physique de la nervosité, ont reçu le nom de *réflexes*, parce que le courant nerveux semble réfléchi par les cellules, sans aucun arrêt.

Chez tous les Vertébrés, les substances qui causent les sensations et les volitions, n'arrivent pas d'emblée aux hémisphères cérébraux. Chez la Carpe, où ces organes sont d'ailleurs très petits, leur ablation modifie très peu ses allures ; sa sensibilité, sa mémoire et sa volonté ne sont pas sensiblement altérées. Elles siègent donc plus en arrière ; cependant la moelle épinière n'en n'offre plus de trace, c'est comme chez la Grenouille.

Ainsi, il est manifeste que la sensibilité, la mémoire et la volonté, c'est-à-dire l'intelligence, ont pour cause la présence, dans les appareils nerveux simples, de substances particulières, non encore isolées expérimentalement. On voit par là l'importance des vivisections, et l'on comprend pourquoi les partisans des doctrines philosophico-religieuses tiennent tant à les proscrire.

Les appareils nerveux simples du centre cérébral, outre les cellules douées de sensibilité et de mémoire, contiennent d'autres éléments analogues, sur lesquels se fixent les résultats des sensations comparées, c'est-à-dire les idées. Elles communiquent également avec les cellules motrices volitives et sont d'autant plus nombreuses qu'on s'élève davantage dans les différentes ramifications de l'embranchement. Rares ou nulles chez les Poissons et les Reptiles, elles atteignent leur maximum chez l'Homme. Comme tous les autres éléments nerveux, ces cellules peuvent être plus ou moins différenciées; c'est ce qui rend

vues de parties solides, n'ont pu laisser aucune trace.

Au fur et à mesure qu'on s'avance vers les temps secondaires, la calcification de la peau décroît. D'abord la carapace se fragmente, puis les écailles s'amincissent, et en même temps le squelette, d'abord cartilagineux, s'ossifie progressivement de la périphérie au centre, pour atteindre en dernier lieu la corde dorsale, dont une partie se retrouve encore intacte actuellement entre chaque corps des vertèbres; alors les écailles sont réduites, comme aujourd'hui, à de minces lames cornées. Quelques formes anciennes ont persisté jusqu'à nos jours; tels sont les Esturgeons et d'autres espèces, sur lesquelles nous reviendrons tout à l'heure.

Un certain nombre de formes sont passées dans les eaux douces pour y vivre, soit d'une manière permanente, soit momentanément, comme les Saumons et les Anguilles.

Les Poissons cartilagineux se rangent en deux groupes autour de la Raie et du Requin. Les premiers sont connus par leur forme aplatie, exagérée encore par la longueur et la largeur de leurs nageoires pectorales; elle doit être attribuée à leur habitude de rester sur le sable, qu'ils fouillent avec leur museau pour y chercher les Mollusques bivalves dont ils se nourrissent. Une espèce, par la bifurcation de ce museau, montre bien que cet appendice est formé par la réunion des deux tentacules céphaliques que nous avons décrits. C'est parmi les Raies que se rencontrent les Torpilles, qui portent, à la base de leurs nageoires pectorales, des organes où la nervosité se transforme directement ou indirectement en électricité (voir p. 112). Le Gymnote, poisson osseux, de la famille des Anguilles, porte des appareils semblables de chaque côté de la queue.

Les Poissons cartilagineux s'élèvent bien au-dessus des osseux par leur organisation générale, et surtout par leur

mode de reproduction, comme nous l'exposerons plus loin. Sauf quelques espèces qui ont pénétré dans les grands fleuves de l'Inde et de l'Amérique, tous sont marins. Ce groupe se rattache directement aux Cyclostomes ou Lamproies.

Transformation des Poissons en Reptiles. — Ici se pose une question de la plus haute importance ; c'est celle du passage des Vertébrés sur les continents desséchés. En effet, avec les Insectes, ce sont à peu près les seuls animaux qui peuplent la terre ferme ; sans ce passage, on peut dire qu'elle serait restée déserte. Comment s'est-il donc opéré?

Nous sommes, aujourd'hui, témoins de plusieurs tentatives faites par les Poissons pour quitter le milieu liquide, ou tout au moins pour s'affranchir de son intervention dans l'acte respiratoire ; nous allons les passer en revue, et peut-être y trouverons-nous les bases de la solution du problème.

Certains poissons osseux, tels que l'*Anabas,* peuvent passer d'un cours d'eau à l'autre et même grimper aux arbres, en s'aidant des épines de leurs nageoires. Durant les trajets, souvent longs, qu'ils font à travers les herbes, leurs branchies sont sans cesse humectées par de l'eau qui s'écoule de réservoirs creusés dans les parois latérales de la tête. Si la provision de liquide est épuisée avant qu'ils aient atteint le but de leur voyage, la mort est la conséquence forcée de leur imprudence. Ce n'est donc pas par leur entremise que les Vertébrés terrestres ont pu se produire : nous avons vu les Crabes faire de semblables tentatives sans plus de succès. Du reste, rien, dans l'organisation des Anabas et de leurs analogues, ne les prépare à un changement définitif de milieu. Les poissons osseux sont bien une branche des Vertébrés, mais une branche terminale qui ne peut plus produire que des variétés ; leur diffé-

renciation est trop profonde. De là leur nom de *Téléostéens* (1).

Voyons, maintenant, les poissons à poumon, les *Dipneustes*, qui peuvent respirer alternativement l'eau et l'air.

La première tendance à la formation de poumons a produit la vessie natatoire, qui permet aux espèces qui en sont munies de se maintenir à différentes profondeurs sans autre effort qu'une pression sur ce réservoir à air. Bien que souvent clos, il a toujours communiqué, à un moment donné, avec l'œsophage par lequel l'air y pénètre, à l'aide de mouvements de déglutition.

Les Poissons, chez lesquels la ou les vessies natatoires sont devenues de véritables lieux de respiration aérienne, sont peu nombreux et figurent parmi les derniers représentants des formes anciennes aux écailles épaisses et calcaires. Ils vivent à l'embouchure de certains fleuves de l'Amérique du sud et de l'Australie, dans des eaux marécageuses souvent infectées de gaz délétères. Dans ces circonstances ils ferment les opercules de leurs branchies et vont à la surface puiser l'air respirable. En outre, lorsque les eaux se sont retirées, ils se creusent dans la vase une loge dans laquelle ils attendent le retour de leur véritable milieu. Notons, en passant, l'habitat de ces espèces retardataires ; nous aurons bien des fois à y revenir à propos des Vertébrés terrestres.

Ces exemples nous montrent comment le changement de respiration a pu se produire, lors du passage à la vie aérienne; mais ce ne sont pas les Dipneustes qui ont pu l'exécuter. Ils sont aussi poissons que possible ; leurs membres sont grêles et ne sauraient leur permettre de se mouvoir sur le sol émergé.

(1) Τέλειος, achevé ; ὀστέον, os.

Les *Batraciens*, au contraire, nous indiquent d'une manière précise comment la transformation a pu avoir lieu. Durant la première partie de leur vie, ils sont de véritables poissons, respirant par des branchies, sans aucune trace de membre et possédant par conséquent la série des appendices dorsaux médians ou nageoire impaire, absolument comme les Lamproies et l'Amphioxus. Puis, comme les arcs branchiaux sont peu développés, leur affinité pour l'air les pousse à l'aller chercher à la surface de l'eau, et, par des efforts de déglutition, ils aident à la formation de deux poumons. Alors, en même temps que leurs nageoires impaires disparaissent, leurs membres poussent, non pas des membres de poissons, mais des membres de véritables Reptiles, parmi lesquels on les a longtemps rangés. Chez les Grenouilles et les Crapauds, dont les membres postérieurs sont plus volumineux, leur développement entraîne même la suppression de l'appendice caudal. Voilà donc des Poissons devenus animaux terrestres. Cependant, comme leur peau nue contribue pour une part importante à l'acte respiratoire, ils se maintiennent dans des lieux humides, et la plupart ont besoin de se plonger souvent dans leur milieu primitif, qui est leur refuge le plus sûr. La sécheresse les tue.

D'après ce qui précède, on serait tenté d'admettre que ce sont les Batraciens qui sont la souche des Reptiles, avec lesquels d'ailleurs la plupart ont, à l'état adulte, une si grande ressemblance. Il n'en est pourtant rien. Ils existent depuis les temps primaires ; et, depuis tant de millions d'années, ils sont toujours restés poissons durant la première partie de leur existence. Du reste, pendant leur vie terrestre, ils sont encore poissons au point de vue des organes génito-urinaires. Leurs œufs sont petits, les matériaux de réserve qu'ils contiennent sont absolument insuffisants pour mener l'embryon à la forme adulte ; il lui est

indispensable de se nourrir dans l'eau par lui-même, plus ou moins longtemps, pour achever son développement.

On m'objectera, certainement, que le crapaud Pipa, de La Havane, n'a pas de vie aquatique. Le fait est exact; mais voici comment les choses se passent. Le mâle dépose sur le dos de la mère les œufs qu'il vient de féconder. Leur contact irritant développe un gonflement de la peau dans laquelle, au bout d'un certain temps, ils se trouvent comme encastrés. Là, moitié par les provisions contenues dans l'œuf, moitié par les principes fournis par la mère, ils atteignent sur place la forme terrestre, mais sous un très petit volume. Hé bien, qu'on me permette l'expression, cette mode n'a pas eu le moindre succès. Le Pipa est resté un exemple bizarre, isolé, qui montre que, n'importe d'où elle vienne, la matière organisable peut produire un être organisé; et, malgré son ingénieuse invention, il est toujours resté aussi crapaud que ceux de nos pays. En somme, les Batraciens nous montrent comment le passage des Poissons aux Reptiles a pu se faire, mais ils y sont restés étrangers.

Alors, dira-t-on, les Vertébrés terrestres ne sont donc pas sortis de l'eau? — Certainement si : Reptiles, Oiseaux, Mammifères, tous, l'Homme même, présentent, au début de leur développement, des arcs branchiaux, une circulation branchiale analogue à celle des Poissons, et l'appareil hyoïde du cou représente l'ossature de ces branchies virtuelles. A ce stade de leur évolution ontogénique, les animaux de ces trois classes sont si semblables entre eux, qu'il est impossible de les distinguer les uns des autres. Leur origine aquatique est donc incontestable.

C'est le moment de revenir aux Poissons cartilagineux, de la famille des Requins, que nous nous sommes contentés de nommer. Tout le monde en connaît la conformation générale : leurs membres sont bien détachés, vigou-

reux, et leur donnent une grande allure. Cette supériorité extérieure répond à une organisation interne bien plus élevée que celle des Poissons osseux. Leur cerveau est plus volumineux, et, s'ils voulaient se prêter à l'ablation des hémisphères, il est probable qu'elle leur serait beaucoup plus préjudiciable qu'à la Carpe. Leurs organes génito-urinaires diffèrent très peu de ceux des Reptiles, ce qui leur donne une supériorité incontestable sur les Batraciens. L'hermaphrodisme, ce signe d'infériorité, que l'on rencontre quelquefois chez les Poissons osseux et même chez une espèce de Crapaud, leur est absolument étranger. La fécondation est interne ; les œufs sont munis d'éléments nutritifs suffisamment abondants pour permettre aux jeunes d'atteindre la forme adulte.

Bien plus, chez quelques espèces vivipares, dont l'œuf est moins volumineux, le fœtus implante dans les tissus de la mère les villosités de sa vésicule ombilicale, comme il arrive chez les Mammifères, et termine son évolution à l'aide des matériaux que lui fournit l'organisme maternel. Enfin, les dents puissantes des Requins sont disposées d'une manière régulière sur les arcades maxillaires et pas ailleurs. En même temps, leur peau rappelle beaucoup celle des Reptiles, par la présence de petites excroissances papillaires osseuses, quelquefois confluentes et qui constituent alors de véritables plaques, comme on en observe chez les Crocodiles. Jamais ils ne sont revêtus d'écailles analogues à celles des Poissons osseux.

En somme, les Requins ou Squales sont de véritables Reptiles, sauf l'organisation des membres et le mode de respiration. Encore, leur appareil respiratoire se présente-t-il dans les conditions les plus favorables pour disparaître facilement : les arcs sont de simples cartilages peu résistants, la chambre branchiale est divisée par loges, qui communiquent avec le pharynx et le milieu ambiant par

des ouvertures isolées, dont l'oblitération est facile et se rencontre quelquefois accidentellement. C'est, du reste, par ce mécanisme, que la respiration aquatique se supprime chez les Grenouilles et les Salamandres, lorsque l'organisation des poumons est complète. Enfin, certains Squales présentent sur les parties latérales de l'œsophage deux petits diverticules qui sont l'ébauche des poumons. Quant aux membres, certains Reptiles ichthyoïdes fossiles, dont nous parlerons plus loin, avaient de véritables nageoires, sans doigts distincts; cette particularité s'est même continuée jusque chez les mammifères Cétacés qui paraissent être leurs descendants directs.

Ajoutons que les Poissons cartilagineux, dont malheureusement on ne peut retrouver que les dents et les épines, apparaissent en même temps que les osseux dans le silurien supérieur, et qu'alors leur taille est déjà considérable. Ils ont donc bien pu, au moment de la grande émersion de l'époque carbonifère, donner naissance aux Reptiles qui commencent à se montrer vers la fin de cette période. C'est à ce moment qu'a dû se faire le passage. Du reste, une fois les pattes et les poumons formés, il a dû être rapide, le jeune animal trouvant dans l'œuf une nourriture assez abondante pour y passer la période aquatique, puisqu'il suffit au têtard de Pipa d'absorber les sucs fournis par la peau du dos de sa mère pour arriver à ce résultat. Enfin, les premiers Reptiles présentent une ossification très imparfaite, qui se complète au fur et à mesure qu'on éloigne de leur apparition, c'est-à-dire du moment de leur émersion.

Nous sommes encore témoins de toutes les tentatives infructueuses faites par les Poissons pour s'acclimater au milieu aérien ; mais celles qui ont eu un succès réel, nous échappent, précisément parce qu'elles ont réussi. C'est toujours la même difficulté que nous avons rencontrée

pour les Végétaux; sans l'ontogénie, qui nous fournit des documents précis, nous resterions dans l'ignorance.

On demandera peut-être quelles espèces de Squales ont pu former les Reptiles. La réponse est toujours la même: ces espèces n'existent plus certainement, puisqu'elles se sont transformées; quant aux analogues, elles ont dû évoluer certainement aussi, mais dans un autre sens. En effet, il faut le répéter encore une fois : une transformation n'est pas l'effet du bon plaisir de l'animal ou de tout autre être; lorsqu'elle se produit, elle est rendue forcée par les circonstances de milieu. Lorsque l'animal ne trouve pas dans son organisme assez de souplesse pour se plier aux exigences de ces circonstances, il succombe; c'est précisément ce qui est arrivé à toutes les espèces disparues. Si les dents et les épines avaient joué un certain rôle dans ce mouvement évolutif, nous pourrions y trouver des indications, puisque ce sont les seuls restes que les Poissons cartilagineux peuvent laisser; malheureusement il n'en a pas été ainsi, et la paléontologie ne peut nous éclairer en rien.

On pourrait peut-être tirer des indications précieuses de l'évolution ontogénique des Batraciens, relativement au mécanisme de la transformation des Squales en Reptiles. Ainsi, le jeune têtard, au sortir de l'œuf, représente la phase lamproie ou cyclostome : il se fixe aux plantes aquatiques par une espèce de ventouse; puis ensuite sa bouche se modifie. Parallèlement à cette modification, les pattes qui commencent à poindre, peuvent présenter, au début, une conformation correspondante à celle des nageoires latérales d'une espèce de poisson quelconque, pour prendre ensuite la forme définitive par la fusion des appendices juxtaposés. Il y a si peu de temps que la doctrine transformiste est répandue, et si peu de savants dirigent leurs recherches à *ce point* de vue, qu'il ne faut pas désespérer

de voir un jour ce point intéressant élucidé. La moisson sera abondante pour les jeunes générations qui nous suivent, si les préjugés ne les détournent pas de la bonne voie.

Reptiles.— Il paraît donc très probable que les Reptiles sont issus des Poissons cartilagineux ; de plus le passage à dû se faire par l'entremise d'un certain nombre d'espèces. En effet, malgré plusieurs points de contact, il est difficile d'attribuer une origine commune aux Serpents, aux Tortues et aux Lézards ; quant à ces derniers, ils paraissent avoir eu le même point de départ que les Crocodiles ; les divergences ne se seraient produites qu'ultérieurement.

Quoi qu'il en soit, chez tous, le principal résultat de la transformation a été la descente des organes respiratoires et du cœur, qui, de la région cervicale, sont passés dans le thorax. Ce déplacement a entraîné une foule de modifications secondaires, telles que l'oblitération de la cavité générale dans le cou, l'allongement des nerfs et des vaisseaux, etc. Mais celle qui nous intéresse le plus est la nouvelle conformation prise par le cœur: nous nous y arrêtons.

Nous avons vu la circulation du fluide nourricier débuter chez les Échinodermes, sans prendre une direction bien définie. Il en est de même pour le groupe des Vers. Ce sont les Mollusques qui, les premiers, nous montrent un centre moteur recevant le sang de l'appareil respiratoire et le transmettant au reste du corps, puis aux branchies à travers de nombreuses lacunes dans lesquelles baignent certains organes. La circulation des Crustacés supérieurs présente sensiblement les mêmes caractères. Dans ces deux groupes, le cœur est artériel; c'est le sang, revivifié par le contact de l'eau, qui est mis en mouvement. Je laisse de côté les Insectes dont la circulation a pour seul but la distribution des principes nutritifs, puisque l'oxygène arrive aux éléments cellulaires directement par les trahées, comme chez les Vers munis de canaux aquifères.

Chez les Poissons, il n'y a plus de lacunes ; le système vasculaire est complètement clos ; seulement, peut-être par suite du retournement de l'animal, le cœur est veineux. Il chasse le sang dans les branchies, d'où les ramifications artérielles le conduisent dans une aorte qui le distribue dans tout l'organisme.

Par suite du changement de milieu et du développement définitif des poumons, le cœur des Reptiles a subi des modifications importantes, dont le mécanisme a été parfaitement étudié. Il présente trois cavités. Dans les deux premières, il reçoit, d'une part, le sang veineux venant du corps, et, de l'autre, le sang revivifié dans les poumons. De là, les deux liquides se rendent dans la troisième cavité ou ventricule, qui renvoie le mélange aux poumons et simultanément à tout l'organisme. On comprend facilement les conséquences de cette réunion ; les centres nerveux et les muscles ne reçoivent que la moitié de la quantité d'oxygène qui leur serait nécessaire, et l'autre moitié est remplacée par de l'acide carbonique qui nuit à leur fonctionnement et dont ils pouvaient se croire définitivement débarrassés ; enfin, une partie du sang artériel retourne au poumon où il n'a que faire. Si la machine reptilienne était l'œuvre d'un mécanicien, celui-ci mériterait un blâme sévère pour un pareil vice de construction ; mais les choses sont ainsi parce qu'elles ne pouvaient être autrement.

Cette imperfection met le groupe entier, dont nous nous occupons, dans un état d'infériorité des plus fâcheux. Au lieu d'être vifs et alertes, d'avoir les opérations intellectuelles rapides, comme les Squales leurs ancêtres, les Reptiles sont obtus, lents et souvent dans une immobilité complète. Lorsqu'ils s'élancent sur leur proie, on croirait que ce mouvement brusque est dû à la détente d'un ressort, et, aussitôt la victime saisie et dévorée, ils rentrent dans leur *impassibilité primitive*. Un abaissement de température

un peu accentué les plonge immédiatement dans une torpeur profonde. En un mot, ils n'ont conservé du caractère des Requins que la voracité.

Tel est, du moins, leur état actuel; mais, depuis leur apparition à l'époque houillère jusqu'à la fin des temps secondaires, la température élevée, constante et uniforme qui régnait sur la terre, leur a permis de prendre, comme volume et comme nombre, un développement qui nous surprend, aujourd'hui que nous n'avons plus que les descendants dégénérés de ces légions fantastiques dont nous retrouvons les débris.

Comme on pouvait s'y attendre, un grand nombre de Reptiles retournèrent bientôt à l'élément d'où ils venaient de sortir, en reprenant des formes ichthyoïdes que, peut-être, ils n'avaient pas quittées complètement. Tels sont l'*Ichthyosaure*, le *Plésiosaure*, le *Mosasaure* et d'autres qui atteignaient jusqu'à 30 mètres de long, et donneraient par là quelque créance à la fameuse légende du grand serpent de mer. D'autres restèrent sur le littoral; tel est le grand *Iguanodon* herbivore du musée de Bruxelles, dont la forme rappelle celle du Kanguroo.

Les terrains secondaires de l'Amérique du Nord ont fourni les restes plus ou moins complets d'une foule de Reptiles, qui rappellent les formes de plusieurs des animaux à sang chaud qui leur ont succédé. Mais tous, ne l'oublions pas, avaient des dents simples, plus ou moins rapprochées, mais jamais fusionnées, et aucun de leurs os ne présentait de canal médullaire. Ce sont là les caractères reptiliens par excellence.

Toutes ces espèces, si variées de taille et d'aspect, disparurent vers la fin de l'époque secondaire, soit qu'elles se soient transformées, soit qu'elles aient péri, faute de pouvoir résister aux modifications du milieu ambiant.

Aujourd'hui les Reptiles, concentrés presque unique-

ment dans les zones chaudes, ne sont plus que l'ombre du passé. Les Tortues, seules, nous présentent des espèces conformées pour le milieu liquide. Les Crocodiliens, qui habitent le bord des grands fleuves et s'y plongent souvent, ont néanmoins une forme franchement terrestre. Tous sont ovipares, sauf la Vipère et l'Orvet; encore, dans ces espèces, l'oviducte maternel n'est-il qu'un lieu d'incubation, qui favorise le développement du jeune animal.

A l'approche de l'époque tertiaire, alors que la diminution progressive du diamètre du Soleil avait amené des écarts plus considérables entre la température des jours et celle des nuits et une démarcation accentuée des saisons dans les régions circumpolaires, lorsque la zone intertropicale ne s'étendait guère que de quelques degrés au delà de la latitude la plus septentrionale de la France, les conditions de la vie devinrent difficiles pour le monde reptilien, qui s'était multiplié et diversifié pour ainsi dire à l'infini. La pauvreté de leur sang en oxygène ne leur permettait pas d'acquérir par eux-mêmes une température capable de résister à des minima déjà considérables. De plus, toujours sous l'influence de la même cause, leur intelligence ne s'était pas développée (les paléontologistes américains sont frappés de l'exiguité de la cavité cérébrale de ces corps gigantesques, dont ils mettent les squelettes au jour); leur industrie, on peut dire nulle, ne pouvait les aider à lutter contre l'influence pernicieuse de l'abaissement de la température. Il fallait donc périr ou se transformer; et, si la transformation n'avait pas eu lieu, comme il est facile de le comprendre, la terre aurait été bientôt presque complètement dépeuplée.

Heureusement, la modification nécessaire était peu compliquée et se résumait à la production d'une cloison dans le ventricule du cœur, de manière à séparer le sang *veineux du sang artériel* : elle se fit tout naturellement.

Les veines pulmonaires, qui se déversent du côté gauche du ventricule, y apportaient un sang bien oxygéné qui lui donnait une vitalité supérieure à celle de la moitié droite, qui ne recevait que du sang noir, infecté d'acide carbonique. La couche musculaire de la première prit, en conséquence, un plus grand développement, et la multiplication de ses éléments finit par former la cloison nécessaire. On peut la voir aujourd'hui en voie de formation chez les Crocodiliens, spécialement dans les espèces du Nil. Certainement, il fallut bien des générations pour produire un semblable résultat ; enfin il se produisit, grâce à la lenteur de la concentration de la masse solaire, qui nous a été démontrée par la durée si considérable des périodes géologiques. Dès lors, la production des animaux à sang chaud, c'est-à-dire à température constante, était assurée, et l'apparition de l'Homme devenue possible. Actuellement, sans cette bienheureuse cloison interventriculaire, les Oiseaux et les Mammifères des régions polaires et même tempérées ne pourraient résister au froid, malgré leur pelage si bien approprié.

L'ontogénie vient encore ici confirmer la phylogénie. Chez les Oiseaux, les Mammifères et l'Homme, les ventricules droit et gauche sont primitivement fusionnés, sans différences notables entre les deux moitiés. Mais bientôt les parois de la région artérielle deviennent plus épaisses, et, en même temps, la cloison commence à apparaître, dans le fond, sous la forme d'un repli semi-lunaire qui se développe rapidement. La séparation est complète chez l'embryon humain de huit semaines. Du reste, le cœur des animaux à sang chaud, avant de prendre la forme reptilienne, a revêtu successivement celles que l'on observe chez les Vers et les Poissons, mais sans les conserver aussi longtemps que la laremière.

us l'avons déjà dit, l'époque secondaire a vu le grand

développement des Reptiles ; lorsqu'elle se termine, on ne découvre plus que les formes actuelles, plus ou moins modifiées. Par contre, dès le début du tertiaire, les animaux à sang chaud apparaissent nombreux et variés, comme taille et comme conformation générale. Nous devons en conclure que le cloisonnement des ventricules s'est fait en même temps dans un grand nombre d'espèces reptiliennes, qui, si nous les connaissions toutes, nous rendraient compte, jusqu'à un certain point, de l'aspect des premiers Oiseaux et des premiers Mammifères.

Le premier effet de la peroxygénation du sang a été un changement considérable dans la forme et la disposition des productions de la peau. Chez les Reptiles, ce sont des plaques cornées adhérentes au derme plus ou moins chargé de calcaire. Chez les animaux à sang chaud actuels, ces concrétions pierreuses disparaissent complètement (1) ; la matière cornée se soulève, en se subdivisant à l'infini, et ne reste adhérente que par un seul point. Telle est l'origine des plumes et des poils, comme nous allons le voir.

Oiseaux.—Depuis longtemps on avait constaté des relations organiques remarquables entre les Oiseaux et les Reptiles. Nous ne pourrions les énumérer sans sortir de notre cadre ; nous nous contenterons de citer les œufs, qui sont sensiblement les mêmes dans ces deux groupes, et ne diffèrent guère de ceux des Squales que par la présence de l'allantoïde, organe vasculaire de l'embryon, qui, s'appliquant sur l'enveloppe du jeune reptile ou du jeune oiseau, leur permet d'absorber l'oxygène qui pénètre à travers la coquille. C'est leur organe respiratoire, qui tient lieu des poumons jusqu'à l'éclosion.

Les découvertes paléontologiques de ces dernières années

(1) Les *Glyptodons*, Édentés quaternaires de l'Amérique du Sud, présentaient encore une carapace osseuse qui rappelle celle des *Tortues*.

ont montré que ces ressemblances étaient le résultat d'une parenté étroite. En effet, un grand nombre de Reptiles secondaires de tailles diverses, par suite du grand développement d'un ou plusieurs doigts de la patte antérieure, et de leur réunion par une membrane analogue à celle des Chauves-souris, avaient acquis la propriété de voler; plusieurs même présentaient une envergure considérable (8 à 9 mètres). Si la plupart avaient des dents, quelques espèces en manquaient et devaient avoir un véritable bec corné. Or, dans des terrains voisins, on a découvert de véritables Oiseaux avec des plumes; mais, comme les Reptiles, ils avaient des dents et une série très nombreuse de vertèbres caudales, qui portaient latéralement des plumes absolument semblables à celles des ailes et du corps. Ce n'est qu'à une époque plus récente que l'on voit cette queue se réduire en croupion, par le même phénomène de concentration que nous avons observé chez les Poissons osseux, et accumuler, par suite, sur son extrémité les plumes primitivement échelonnées le long de ses bord latéraux. Un phénomène analogue a amené la réduction de la main à quelques os plus ou moins fusionnés. Enfin, les dents finirent par disparaître entièrement, et furent remplacées par une couche cornée, comme il en existe chez les Tortues. En outre, d'autres Reptiles, du jurassique des montagnes Rocheuses, présentent une conformation qui rappelle au plus haut degré celle des Échassiers coureurs du groupe des Autruches, dont ils doivent être les ancêtres.

Nous sommes donc amenés à croire que les formes typiques des Oiseaux leur ont été transmises directement par les Reptiles, comme nous l'avons vu pour le passage des Cryptogames vasculaires aux Phanérogames. La plupart des nuances spécifiques ont dû se produire ultérieurement, comme il est arrivé pour les Oiseaux aquatiques, dont les divers groupes sont si différents, malgré de nombreux

caractères communs, comme on peut s'en rendre compte en comparant un Manchot à un Goéland. Leurs ancêtres reptiles avaient-ils les mêmes mœurs? Il est difficile de le savoir dans l'état actuel de nos connaissances.

Mammifères. — Ce que nous venons de dire des Oiseaux nous amène à parler tout d'abord des Chauves-souris. Bien que leur évolution, comme mammifères, soit très avancée, elles ont conservé de leur origine reptilienne la possibilité de voler, grâce à la disposition de leurs membres antérieurs, qui, à quelques nuances près, sont identiques à ceux de certains des Reptiles volants connus.

Ici se pose tout naturellement une question pleine d'intérêt. Quelle est la cause qui a amené, d'une part, la production des plumes, d'autre part, celle des poils? Ce sont deux productions épidermiques qui présentent de grandes analogies au début de leur développement ; mais pourquoi cette divergence de forme? Ce n'est certes pas le mode de locomotion ; le cas de la Chauve-souris le démontre surabondamment. La paléontologie ne pouvant être d'aucun secours pour la solution du problème, c'est dans l'étude des formes de passage qu'il faut la chercher.

L'ectoderme de tous les Vertébrés, quoique dépouillé des substances nerveuses et contractiles, conserve assez de vitalité pour que, grâce au nombreux vaisseaux sanguins du derme sous-jacent, les corps protoplasmiques de ses cellules puissent continuer à se multiplier par segmentation, tout en s'enveloppant d'une mince couche d'une matière cornée, qui est l'homologue de la chitine des Insectes et de la cellulose des Végétaux. Cette segmentation ayant son siège dans le voisinage du derme, les nouvelles cellules poussent continuellement vers le dehors les anciennes qui finissent par périr, et leurs enveloppes desséchées restent agglutinées pour constituer la masse de *toutes les productions* cornées, dont le volume est propor-

tionné à l'activité avec laquelle les cellules se multiplient.

Chez les Reptiles actuels, ces productions ont une forme écailleuse et ont pour base des saillies du derme contenant quelquefois, dans leur épaisseur, des productions ostéocalcaires. C'est au sommet d'une saillie analogue que naît le duvet des oiseaux, mais pour les véritables plumes, comme pour les poils, cette papille s'enfonce dans l'épaisseur des tissus. Les plaques cornées des Reptiles sont contiguës, ne variant guère que par leur étendue. Celle des ongles affecte seule une forme spéciale, et, chose remarquable, cette forme s'est conservée, sans modification sensible, chez tous les Mammifères, aux pattes postérieures des Oiseaux et même quelquefois à l'un des doigts atrophiés de l'aile. Dans ce dernier groupe, on retrouve les productions épidermiques du corps des Reptiles sur les pattes et quelquefois autour du bec. Le membre antérieur des Manchots en est également recouvert, mais là elles présentent certaines modifications qui paraissent en faire des intermédiaires entre les écailles et les plumes.

On ne trouve que de rares exemples analogues chez les Mammifères; citons d'abord les plaques cornées de la carapace des Tatous et les écailles onguiformes des Pangolins. Du reste, ces espèces, malgré leurs mamelles, ont des caractères reptiliens très accentués, sur lesquels nous reviendrons plus loin.

Notons, à ce propos, que ces mammifères inférieurs habitent, comme les poissons Dipneustes, comme le Manchot, l'hémisphère austral, dont toute la faune terrestre présente des caractères qui indiquent un degré d'évolution bien moins élevé que celui de l'hémisphère nord. Nous aurons à insister sur ce sujet, et nous verrons que l'étude de tous ces êtres en retard pourra nous éclairer sur la manière dont s'est exécuté le passage des Reptiles aux Mammifères, ainsi que sur les transformations ultérieures.

Malheureusement, la pénurie de savants dans ces régions et leur éloignement de nos centres scientifiques rendent cette étude très difficile, surtout au point de vue embryologique.

Le Castor, dont l'évolution est plus avancée que celle des animaux dont nous venons de parler, porte sur sa large queue aplatie de haut en bas, des écailles qui, vers la base, se transforment graduellement en poils. L'étude de ces plaques cornées, comparées à celles des bras du Manchot, devra jeter une certaine lumière sur l'origine respective des poils et des plumes, qui, lors de leur différenciation complète, présentent des différences accentuées non seulement dans leur forme, mais dans leur développement. Ce travail certainement se fera lorsque la doctrine transformiste cessera d'être réprouvée par la science officielle.

Un autre point, d'une grande importance, relativement au passage des Reptiles aux Mammifères, est le mode de disparition des œufs à développement extérieur. La paléontologie est naturellement muette sur ce sujet, et c'est encore la faune australe qui va l'élucider.

Deux petits animaux, dont les formes prétendues aberrantes ont jeté le trouble parmi les classificateurs, ont été réunis sous le nom de *Monotrèmes* (une seule ouverture), parce que les orifices excréteurs du tube digestif, de la vessie et des organes génitaux s'ouvrent dans un cloaque, comme chez les Oiseaux, les Reptiles et les Squales. Ils ont un bec analogue à celui des Canards, c'est-à-dire qu'ils ont les maxillaires sans dents, mais recouverts de lames cornées, comme les Tortues. L'un, l'*Ornithorhynque*, a une épaisse fourrure; l'autre, l'*Échidné*, a les poils de la face dorsale du tronc agglutinés sous forme de piquants, comme le Hérisson et le Porc-épic, avec lesquels il a, du reste, d'autres points de ressemblance. Malgré tous ces caractères étranges, ce sont bien des mammifères.

En raison de cette présence de mamelles, du reste mal limitées, on les a crus longtemps vivipares, comme tout le reste du groupe. Or, il n'en est rien; ainsi l'Ornithorhynque pond des œufs absolument semblables à ceux des Reptiles, avec cette différence que le petit, au sortir de la coquille, est alimenté par le lait maternel. En était-il de même de l'Echidné? On n'en savait rien jusque dans ces derniers temps, car on ne le connaissait guère que par les exemplaires empaillés qui figurent dans les musées. Mais le fait a été démontré récemment par plusieurs voyageurs.

L'œuf de l'Échidné, comme celui de l'Ornithorhynque, est enveloppé d'une membrane parcheminée, aussi coriace que celle de l'Iguane et autres lézards (1).

De plus, le squelette de l'épaule de ces deux espèces animales est absolument identique à celui des Reptiles. Ils n'ont plus, il est vrai, comme le Crocodile par exemple, de côtes abdominales réunies par un sternum médian; mais ce groupe osseux est représenté chez eux par deux os longs, insérés au pubis et remontant dans l'épaisseur de la paroi abdominale. Ce sont les os marsupiaux, qui jouent un rôle important dans le groupe de Mammifères dont nous allons parler, et qui lui ont donné leur nom.

Les *Marsupiaux*, dont les Sarigues et les Kanguroos sont les espèces les plus connues, ne pondent plus d'œuf; celui-ci reste dans la matrice où il subit une espèce d'incubation. Il y arrive avec une certaine provision de nourriture que l'organe maternel entretient pendant un certain temps, comme nous l'avons déjà observé chez les Squales vivipares; mais l'allantoïde, qui, chez les Vertébrés terrestres ovipares, sert à la respiration du fœtus, ne se transforme pas en placenta, comme chez les Mammifère

(1) Voir *Voyage dans le nord est de l'Australie*, par M. Ca Lumholtz, in *Tour du monde*, t. LVII, 1889, p. 328.

supérieurs; elle se développe néanmoins, mais s'atrophie bientôt. Dans ces conditions, le jeune animal ne peut atteindre son développement complet dans le sein maternel; il est expulsé dans un état encore très imparfait, et entouré de ses membranes. La mère les déchire et introduit le nouveau-né dans une poche abdominale au fond de laquelle sont les mamelles; il s'y attache et achève ainsi son organisation. Cette poche (*marsupium*) est un repli de la peau du ventre dans lequel les os marsupiaux ont émigré et auquel leur présence donne une certaine rigidité.

Les Mammifères marsupiaux sont donc ovovivipares comme certains Reptiles et un grand nombre de Poissons cartilagineux, et nous amènent par une transition insensible aux Mammifères ordinaires, chez lesquels l'allantoïde ne s'atrophie pas, mais forme un placenta dont les vaisseaux sanguins, implantés dans le tissu de la matrice, y puisent les matériaux nécessaires pour l'achèvement plus ou moins complet du développement du fœtus. Je dis plus ou moins complet, car il y a une foule de nuances. Ainsi, le veau et le poulain suivent leur mère dès leur naissance, tandis que, pour les jeunes rats, la vie placentaire est si courte qu'ils ne sortent guère plus avancés que les petits Sarigues. Cette expulsion prématurée est certainement due à la disproportion qui existe entre la capacité de l'organe maternel et le nombre considérable de petits que comprend une seule portée. En suivant les intermédiaires entre les deux extrêmes que je viens de citer, on voit que le plus ou moins de précocité de la parturition est toujours l'effet de la même cause mécanique.

La paléontologie nous montre que les Marsupiaux sont bien un des anneaux de la chaîne qui réunit les Reptiles aux Placentaires, car, dans l'hémisphère nord, les Mammifères que l'on rencontre dans les terrains jurassiques et même à la base du tertiaire, sont tous caractérisés par

la présence des deux os spéciaux que l'on ne retrouve plus chez les animaux qui leur succèdent.

A l'exception des Tortues, qui forment un groupe à part, tous les Reptiles actuels et fossiles ont une queue volumineuse, surtout à sa base, et remarquable par sa puissante musculature, héritage de leurs ancêtres poissons. Or, tous les Mammifères de l'hémisphère austral, fossiles ou vivants, marsupiaux ou non, présentent cette particularité à différents degrés. Les partisans des causes finales, en la constatant chez le Kanguroo, n'ont pas manqué de dire qu'elle avait pour but de l'aider à se soutenir, vu la petitesse de ses membres antérieurs. Mais le *Thylacyne*, ce marsupial carnassier digitigrade, dont les membres sont parfaitement égaux, a une queue absolument semblable à celle du kanguroo et sur laquelle il ne s'appuie pas, comme on peut le voir actuellement sur un couple vivant de la ménagerie du Muséum de Paris.

Enfin, ce qui prouve que les Marsupiaux ne constituent pas un groupe de Mammifères au même titre que les Ruminants, par exemple, mais formaient, à une époque géologique ancienne, une faune presque complète et aussi différenciée que celle actuelle, c'est que le peu qu'il en reste aujourd'hui comprend encore des Herbivores, des Carnassiers analogues au Loup et à la Marte, des Lémuriens tels que le Phalanger, dont la queue, charnue à sa base, est prenante à son extrémité couverte d'écailles, enfin, des Rongeurs semblables à nos Écureuils et des Insectivores qui rappellent le Hérisson.

Pour compléter tous les détails qui précèdent sur le passage des Reptiles aux Mammifères, je dois parler des découvertes toutes récentes faites au sujet de la *glande pinéale* dont Descartes avait fait le siège de l'âme. L'illustre philosophe était loin de supposer que ce petit organe cérébral, auquel il prétendait faire jouer un rôle si impor-

tant, servirait un jour à démontrer la filiation directe entre l'Homme et l'humble Vermisseau.

Chez l'Homme, les Mammifères et les Oiseaux, la glande pinéale, née de la vésicule cérébrale antérieure, comme les yeux, a la forme d'un petit corps ovoïde, sessile et caché par les hémisphères cérébraux qui, partis de la même vésicule, recouvrent plus ou moins complètement le reste de l'encéphale; ceux des Reptiles l'atteignent sans la cacher. Elle est alors plus développée et se montre sous l'aspect d'une petite sphère pédonculée, qui se dresse en se dirigeant vers une solution de continuité de la voûte du crâne, dont, jusqu'à ce jour, on avait ignoré la signification. Dans certaines espèces, elle l'atteint sans s'y engager; chez le Varan des sables d'Afrique, on l'aperçoit du dehors sous forme d'une tache noire, à travers le trou crânien que ferme une véritable cornée transparente; enfin, chez l'*Hatteria punctata*, de la Nouvelle-Zélande, c'est un véritable œil médian, constitué comme les yeux latéraux. Le microscope en a bien reconnu et spécifié tous les éléments, qui existent également, mais plus ou moins incomplets ou modifiés, dans celui des autres Reptiles. Chez les Mammifères, le globe oculaire a disparu, il ne reste plus que le pédoncule ou nerf optique atrophié. On ignore si l'Hatteria tire profit de cet organe visuel; anatomiquement parlant, la chose est possible, mais celui des grands Reptiles fossiles devait fonctionner aussi bien que les latéraux, car son trou orbitaire présentait de grandes dimensions.

Chez la Grenouille, la conformation de l'œil pinéal est assez régulière, seulement la peau le recouvre sans présenter plus de transparence à ce niveau qu'ailleurs. Il en est de même pour tous les Poissons osseux et cartilagineux, avec cette différence que le trou orbitaire n'existe pas ou est réduit à une petite excavation que le globe oculaire n'atteint pas toujours. Chez les Lamproies seules, il appa-

raît du dehors comme un point brillant, et, chose remarquable, on le trouve alors dédoublé, mais un seul lobe peut fonctionner, l'autre n'est qu'un amas confus d'éléments nerveux ou autres. Quant à l'Amphioxus, son point oculaire impair siège précisément à l'endroit où devrait naître la glande pinéale, si son cerveau n'était pas si rudimentaire,

On retrouve l'œil médian chez un certain nombre de Crustacés et chez la plupart des Insectes où il est bilobé. comme chez la Lamproie, et porte le nom d'ocelle. Comme il apparaît le premier dans les larves, et existe seul chez les Crustacés inférieurs, tels que les Cyclopes et les Daphnies, on est autorisé à admettre qu'il représente les yeux du premier segment des Vers.

Voilà donc un organe qui figure dans toute la série phylogénique des Vertébrés. Chez l'ancêtre primordial, le Ver, il est chargé seul de la fonction visuelle ; en passant aux Poissons, sauf au début, il disparaît pendant des millions d'années, de siècles peut-être, caché dans les profondeurs de l'organisme ; puis, chez les Reptiles, il reprend momentanément son rôle, pour se replonger ensuite, chez leurs descendants, dans l'intérieur du crâne, et cela d'une manière définitive. Malgré cette inutilité presque permanente, il ne disparaît pas ; la multiplication des cellules nerveuses le reproduit toujours à chaque génération, mécaniquement, aveuglément, si je puis m'exprimer ainsi ; et, si par impossible les hémisphères cérébraux de l'Homme laissaient le champ libre à sa glande pinéale, elle suivrait tranquillement son évolution naturelle et le globe oculaire viendrait se heurter contre la voûte du crâne, comme chez le Squale. On ne peut trouver un exemple qui démontre mieux que le développement de tous les animaux, même les plus complexes, est absolument identique à celui des végétaux et par conséquent n'a pas d'autres causes.

Les cellules se multiplient là où le liquide nutritif

abonde, quel que puisse être le résultat de cette multiplication. S'il est favorable, c'est que des circonstances concomitantes viennent y concourir; il est nul, lorsque celles-ci viennent l'entraver.

Si je ne craignais d'abuser de la patience du lecteur, je citerais, à l'appui de cette induction, l'exemple du *corps thyroïde*, cette masse d'apparence glandulaire, située au-devant du cou de tous les Vertébrés, et dont le rôle a tant intrigué les physiologistes. Il a pour origine une glande simple pharyngienne de l'Amphioxus. Chez la Lamproie, durant la première partie de la vie, cette glande est bien développée, mais chez l'adulte son orifice s'oblitère et elle cesse de fonctionner. Chez tous les descendants de cette souche première, l'homme compris, le corps thyroïde débute toujours comme chez l'Amphioxus, mais son rôle est encore plus éphémère que dans la Lamproie; néanmoins son volume augmente toujours et devient proportionnel à la taille de l'animal qui le porte. Cette persistance et ce développement progressif d'un organe depuis si longtemps inutile, n'ont pas d'autre cause que l'abondance du liquide nutritif sanguin, conséquence du voisinage du cœur, et l'absence de toute entrave de la part des corps environnants. C'est la contre-partie de la glande pinéale qui, elle, au contraire, est un organe utile qui a succombé dans la lutte pour l'existence.

Ce sont donc bien les circonstances physiques et chimiques du milieu qui produisent et modifient, par leur enchaînement, chaque être organisé. Si, comme l'Homme, il est arrivé à un perfectionnement qui nous étonne, c'est que toutes ces circonstances y ont concouru. Il n'y a, par conséquent, pas lieu d'y chercher un plan préconçu par une personnalité occulte.

Je dois faire remarquer, en terminant cette digression, que l'*Hatteria punctata* appartient à l'hémisphère austral,

et que, comme toute la faune de cette région, il est en relation de parenté directe avec les Reptiles de l'époque secondaire, dont l'œil pinéal était si développé.

La viviparité se rencontrant jusque chez les Poissons cartilagineux, ancêtres des Reptiles, il n'est guère possible d'admettre que tous les Mammifères aient été de prime abord ovipares. L'évolution des êtres organisés ne se produit jamais d'après un plan parfaitement régulier ; même le passage du milieu aquatique au milieu aérien ne s'est pas fait de la même manière pour tous les animaux. Certainement la formation de poumons l'a signalé le plus souvent; mais, chez les Insectes,ce sont des trachées qui les remplacent, et les prétendus poumons des Araignées ne sont que des cavités aériennes dans lesquelles s'ouvrent leurs trachées. D'autre part, l'apparition de cavités pulmonaires chez les poissons à deux respirations n'a pas été le signal d'un changement permanent de milieu, et les Batraciens, malgré les leurs, sont toujours poissons dans la première partie de leur vie. Si donc l'exemple de l'Ornithorhynque et de l'Échidné n'a pas été un fait isolé, il n'a pas dû non plus être la règle.

Cette remarque nous amène à nous demander si la phase marsupiale, que j'ai appelée ovovivipare, a été générale. Voici, d'après l'état actuel de la science, la réponse qu'il est possible de faire à cette question.

Comme je l'ai signalé en son lieu,la dentition des Reptiles est caractérisée par l'isolement des dents. Après le passage des Squales sur les continents émergés, elles se sont fixées définitivement sur le bord des arcades maxillaires, puis s'y sont creusé un sillon, d'abord incomplet, ensuite limité par deux parois continues; enfin elles ont fini par avoir des cavités spéciales, ou alvéoles, plus ou moins rapprochées; néanmoins on n'a cité aucun exemple de fusion véritable. Lorsque ces arcades se raccourcissent, elles se

tassent, mais ne forment pas de groupes analogues aux molaires des Mammifères supérieures. Nous pouvons donc regarder l'isolement des dents chez un mammifère, comme le signe d'une origine reptilienne, sinon récente, tout au moins directe.

Le groupe, dit improprement des Édentés, nous présente ce caractère; et son habitat, comme on pouvait s'y attendre, est l'hémisphère austral. Quelques espèces manquent, il est vrai, de dents; mais d'autres en ont au contraire de très nombreuses (le Priodonte en a 96) ; seulement elles sont toujours simples. Nous retrouvons dans ce groupe le Pangolin et le Tatou, dont nous avons déjà signalé les caractères reptiliens; la faune quaternaire de la Plata en a fourni des espèces gigantesques qui rappellent les Paresseux (Unau et Aï) du même groupe. Cependant, tous ces animaux manquent d'os marsupiaux et de poche ; leurs petits se développent à l'aide d'un placenta fourni par l'allantoïde, et tout porte à croire qu'il n'en a jamais été autrement.

L'ordre des *Cétacés* est également caractérisé par des dents de formes reptiliennes. Tels sont les Cachalots, les Marsouins et même les Baleines, pendant la période fœtale. Or, il est très probable que ce sont des descendants des Ichthyosaures qui, eux-mêmes, étaient vivipares. Ils manquent, il est vrai, de membre postérieur ; mais ceux des Ichthyosaures étaient déjà très petits. Enfin, leurs pattes ou nageoires antérieures n'ont jamais servi à la progression sur terre, et leurs doigts sont enveloppés par la peau, comme l'étaient ceux des reptiles marins dont ils doivent être issus. Ajoutons encore que leurs os longs ne présentent pas plus de canal médullaire que ceux de ces ancêtres.

La même disparition des membres postérieurs s'observe chez les Lamantins et les Dugongs, Syrénoïdes herbivores ; mais le membre antérieur rappelle celui des Phoques. De

plus, l'*Haliterium*, espèce fossile du même groupe, avait, dans l'épaisseur des chairs, un reste de fémur, articulé à un vestige de bassin. Ils ont donc eu des membres postérieurs. Du reste, leur évolution, dans le sens mammifère, est bien plus prononcée que celle des Cétacés proprement dits : ils ont des molaires composées. Néanmoins, il leur reste, comme aux Phoques, une foule de caractères reptiliens, qui permettent de supposer qu'herbivores ou carnassiers, ils ont dû avoir pour ancêtres directs des Reptiles terrestres, ayant des habitudes aquatiques qui se sont accentuées chez leurs descendants, et ont eu pour conséquence l'apparition de formes ichthyoïdes plus ou moins prononcées. Ces ancêtres sont inconnus ; cependant rien ne permet de supposer qu'à une époque quelconque ils aient traversé la forme marsupiale, d'ailleurs incompatible avec leur genre de vie.

Maintenant qu'il est bien démontré que certains Mammifères placentaires ont pu descendre directement des Reptiles, il importerait de savoir si, dans l'hémisphère Nord, les Marsupiaux ont été les souches de toutes les familles dont, en Australie, ils affectent aujourd'hui les caractères, telles que les Insectivores, les Carnassiers, les Lémuriens, les Rongeurs, etc.

Il est un fait certain qu'en Europe, tous les Mammifères dont on trouve des vestiges dans les terrains secondaires et à la base du tertiaire étaient des Marsupiaux, et qu'ils disparaissent plus ou moins rapidement pour faire place à des Placentaires qui sont les ancêtres de nos espèces actuelles. Malheureusement, les dépôts jurassiques et crétacés, explorés jusqu'ici, sont des formations marines, et les quelques fragments de Mammifères marsupiaux qu'on a rencontrés dans le voisinage des points émergés, sont si peu nombreux, qu'on ne peut en tirer des inductions ...ieuses sur leurs formes. Ceux du début des temps ter-

tiaires sont plus complets, quoique encore très rares, et, comme une faune placentaire nombreuse apparaît brusquement, on est autorisé à admettre que l'évolution s'est faite ailleurs, dans des régions non encore explorées. Cependant, on a trouvé des formes de passage qui indiquent une filiation directe entre les Carnassiers à bourse et les Hyènes, les Ours, les Civettes, etc. Pour le reste, il faut attendre et ne pas perdre de vue que la paléontologie, comme science, date de moins de soixante ans.

Les nombreux squelettes de reptiles, découverts dans le jurassique américain du Nord, avaient fait espérer qu'on y trouverait l'origine des formes insolites qui apparaissent chez nous au milieu du tertiaire, telles que Rhinocéros, Mastodonte, Hippopotame, etc. ; mais jusqu'ici on n'a rencontré que celles qui se rattachent aux Marsupiaux d'Australie, spécialement aux Kanguroos, par le développement des membres postérieurs aux dépens des antérieurs, particularité que l'Iguanodon herbivore nous a déjà présentée. Néanmoins, ces découvertes, faites aux États-Unis, sont suffisantes pour montrer que, partout, l'évolution des animaux a été la même, et que les formes des Reptiles ont préparé celles des Mammifères qui leur ont succédé.

L'embryologie, qui si souvent vient suppléer aux lacunes de la paléontologie, ne peut rien nous fournir au sujet du passage des animaux privés de placenta aux placentaires, puisque la différence qui distingue leur ontogénie respective est relative à l'évolution de l'allantoïde : chez les premiers, après s'être montrée un instant, elle s'atrophie ; chez les autres, au contraire, elle prend un développement complet.

Depuis la base des terrains tertiaires jusqu'aux derniers dépôts des alluvions quaternaires, les restes fossiles des *Mammifères* abondent partout ; aussi les paléon-

tologistes ont-ils pu suivre, pas à pas, les transformations qui ont produit la plupart des espèces actuelles. C'est surtout l'étude des Herbivores qui, dans son ensemble, a donné les résultats les plus remarquables.

Le système dentaire a été spécialement le siège des modifications les plus importantes. Nous avons déjà appelé l'attention du lecteur sur la disposition de celui des Reptiles. Prenons pour exemple le Crocodile. Sur cette longue mâchoire, les dents sont isolées et à peu près semblables. Seule, celle qui correspond à la canine est plus longue; seule aussi, elle est restée telle chez tous les Mammifères; elle a disparu dans certains groupes, mais partout ailleurs elle a conservé la forme conique et pointue qui lui est propre.

Les dents postérieures, par suite d'un raccourcissement progressif d'arrière en avant des arcades maxillaires, se sont groupées par cinq, puis par quatre, et enfin par trois et deux. Elles ont ainsi constitué les arrière-molaires et les prémolaires, d'autant plus nombreuses que l'ancêtre reptile avait la mâchoire plus longue et mieux garnie. Par suite de la juxtaposition de leurs éléments, ces dents, fusionnées ou composées, ont pris naturellement un aspect mamelonné, et le nombre des mamelons et des racines indique celui des dents élémentaires qui les constituent. Quant à celles situées en avant, entre les canines, elles sont restées isolées.

Tel est le type primitif général que l'on trouve sur les formes ancestrales qui ont été la souche des espèces actuelles, et l'on peut suivre, dans les intermédiaires, la série des transformations qui ont produit le type que nous observons chez les derniers descendants. Ces transformations se traduisent par un aplatissement antéro-postérieur des dents élémentaires et par la disparition de certaines d'entre elles et même d'un ou plusieurs de leurs groupes,

lorsque le raccourcissement des mâchoires continue. Si, ultérieurement, ces dernières tendent à reprendre leur longueur primitive, il se forme, entre les molaires et les canines, une barre, comme chez le Cheval et le Bœuf. D'autres fois, l'aplatissement a lieu de droite à gauche, par suite des mouvements de latéralité du maxillaire inférieur pendant la mastication, comme il arrive chez les Ruminants.

On peut suivre, de cette manière, la généalogie des Ruminants, des Solipèdes, des Éléphants, etc. Chez les Carnassiers, les arrière-molaires sont toujours mamelonnées, mais elles disparaissent successivement, par suite du raccourcissement de la région dentaire postérieure. Chez les Félins actuels il ne reste plus que les prémolaires tranchantes, dont la forme rappelle celle des Squales.

Sans parler des suppressions qui caractérisent certains groupes, la seule modification sérieuse que les dents antérieures subissent, est un aplatissement d'avant en arrière sous l'influence des pressions opposées de la langue et des lèvres. Elles deviennent alors tranchantes, d'où leur nom d'incisives.

Le développement embryonnaire des dents montre bien que leur nombre et leur groupement dépendent uniquement de l'allongement plus ou moins considérable des mâchoires. Elles débutent, chez tous les Vertébrés terrestres, par un épaississement, en forme de ruban, de l'épiderme du bord tranchant des maxillaires. La partie supérieure de ce cordon aplati reste libre et prend un aspect corné ; elle se développe seule chez les Tortues, les Oiseaux actuels, l'Ornithorhynque et l'Échidné ; partout ailleurs elle s'exfolie, et c'est la partie en contact avec la peau des gencives, qui continue à proliférer, mais seulement sur différents points. Les masses épidermiques, ainsi formées, s'enfoncent dans le derme et donnent naissance à l'émail de la dent, dont la

partie osseuse est produite par le derme lui-même, qui, comme nous l'avons dit, est formé, comme les os, par le tissu connectif privé de matière musculaire et nerveuse.

En même temps, du point d'où émane chacune de ces masses, part un second bourgeon qui s'enfonce plus profondément dans le derme, pour donner naissance à une dent secondaire. Si l'arcade du maxillaire s'allonge suffisamment, cette dent secondaire prend place entre les deux voisines, sinon elle finit, en se développant, par expulser la première, qui lui est superposée et qu'elle remplace. Les mâchoires continuant à se développer par la partie postérieure, la dernière dent donne naissance, d'avant en arrière, à une seconde, celle-ci à une troisième et ainsi de suite, tant que l'allongement se produit. C'est ainsi que les choses se passent chez le Crocodile et tous les Mammifères à dents simples. Les premières dents sont généralement remplacées, et la dernière d'entre elles, de chaque côté en haut et en bas, suffit à garnir toute la partie postérieure des mâchoires par des bourgeonnements successifs.

Si, dans la région dite des prémolaires, comme il arrive chez tous les Mammifères à dents composées, les masses épithéliales primitives sont trop resserrées, elles se fusionnent deux par deux, trois par trois, quatre par quatre, suivant la place. Les bourgeons secondaires qui en naissent, fusionnent leurs éléments également. Il peut même arriver qu'un ou deux de ces derniers s'atrophient, faute de place; alors les dents définitives comprennent moins de denticules que celles de lait. C'est ainsi que, chez l'Homme, les premières prémolaires ont quatre racines et les secondes seulement deux, parce que la portion du maxillaire qui les porte, n'est pas plus étendue chez l'adulte que chez l'enfant. La fusion des arrière-molaires s'explique également par le défaut d'espace. Les bourgeons des

denticules de la dernière dent primitive, se réunissent faute de place et reproduisent une dent semblable à celle-ci, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la croissance des os s'arrête. Comme cette limite n'a rien de fixe, il peut arriver que la dernière contienne moins d'éléments que celle qui lui a donné naissance ; c'est ce qui s'observe pour la dent de sagesse de l'Homme, qui, souvent, n'est composée que de trois denticules, le quatrième s'étant atrophié. Les caractères de la dentition d'une espèce quelconque de mammifère sont donc le résultat de l'action purement physique du raccourcissement des mâchoires, qui, lui-même, est produit par une cause du même ordre, et ainsi de suite. Les transformations des Animaux, comme celles des Végétaux, sont toujours la conséquence d'un enchaînement de phénomènes physico-chimiques.

Chez les Squales, la succession des dents a lieu par le même mécanisme ; seulement elle se fait non dans le sens des maxillaires, mais perpendiculairement à leur axe, et, comme elles se développent superficiellement, toutes sont visibles, quel que soit leur degré de développement. C'est ce qui donne à la mâchoire des Requins cet aspect terrible ; mais en réalité ils ne se servent que de celles qui bordent les arcades, c'est déjà bien suffisant. A mesure que l'animal augmente de volume, par un mécanisme dans les détails duquel nous ne pouvons entrer, les dents, nées sur la face postérieure des maxillaires, s'élèvent et viennent remplacer celles qui occupent l'arête de l'arcade ; celles-ci passent sur la face antérieure et se détachent plus ou moins rapidement.

D'autres parties du squelette indiquent aussi, par les changements qui s'y opèrent, la série des ancêtres des espèces vivantes et viennent confirmer les données fournies par le système dentaire. Ainsi le Rhinocéros est relié au *Paleotherium* tertiaire par l'épaississement graduel des

os et le développement de la région nasale, qui finit par pouvoir supporter une et même deux défenses volumineuses et leur donner un point d'appui solide.

Les extrémités des membres fournissent aussi des indications précieuses. Les Porcins et les Ruminants sont issus d'espèces primordiales à quatre doigts sensiblement égaux; au fur et à mesure que l'on se rapproche des temps actuels, on voit les deux latéraux diminuer de volume de génération en génération, au point de n'avoir plus aucune valeur physiologique, comme chez le Cochon et les Cervidés, et même de disparaître entièrement, comme chez le Mouton. C'est par fusion, et non par élimination, que les Bovidés ne possèdent plus que deux doigts au lieu de quatre, comme leurs ancêtres. On en a, comme toujours, la preuve par l'ontogénie; en effet, primitivement distincts, les quatre doigts ne sont complètement fusionnés que quelques semaines avant la naissance.

C'est surtout la généalogie du Cheval qui a été bien précisée, d'abord par les changements de forme des dents élémentaires dont les molaires sont composées, puis par la réduction successive du nombre des doigts. L'ancêtre primitif en avait cinq. Le premier (le pouce) disparait d'abord, puis vient le tour du cinquième. Enfin, le deuxième et le quatrième diminuent graduellement de volume jusqu'à suppression complète; si bien qu'aujourd'hui le troisième supporte à lui seul tout le poids du corps. En Amérique, on a pu suivre également cette évolution, peut-être même avec des nuances plus ménagées; nouvelle preuve, après tant d'autres, que l'apparition et la transformation des êtres ont eu lieu sur divers points de la surface terrestre.

Il faut le dire à la gloire de la science française, ces résultats sont dus spécialement aux importants travaux de M. Albert Gaudry, professeur de paléontologie au Muséum

de Paris. On en pourra trouver les détails dans ses *Enchaînements du monde animal* (1).

§ 5. L'HOMME.

Son ancêtre tertiaire.
Sa parenté avec les Anthropoïdes et les Singes démontrée par l'anatomie comparée.
Localisations cérébrales relatives à l'intelligence.
Phylogénie de l'homme établie par la paléontologie et l'embryologie.

Bien que l'Homme ne soit qu'une espèce du groupe des Mammifères, nous lui consacrons un paragraphe spécial en raison de son importance, et non parce que nous le considérons comme d'une essence particulière. Inutile d'insister, ce qui va suivre le prouvera amplement.

En faisant l'histoire des temps géologiques quaternaires, nous avons signalé l'apparition de l'espèce humaine dès le début de cette période, et nous avons vu que les traces de son industrie, graduellement progressive, avaient servi à en caractériser les différentes phases. Pour terminer l'exposé de la transformation du règne animal, nous allons donner un résumé succinct de l'état de nos connaissances sur notre arbre généalogique.

L'Homme, tel que nous le trouvons dans les stations de l'époque chelléenne de notre région, différait de l'Européen actuel par un squelette plus massif et des attaches musculaires plus saillantes ; l'appareil masticateur surtout était plus développé. La dernière molaire, qui aujourd'hui est en voie de régression et a tant de peine à opérer son éruption tardive, était au contraire la plus grosse. Malgré l'épaisseur du maxillaire, la saillie du

(1) A. Gaudry, *Enchainement du monde animal dans les temps géologiques* (*Mammifères tertiaires*). Savy, 1878.

menton n'existait pas. Enfin, et c'est le point capital, la surface dressée du front était remplacée par un relief extraordinaire des arcades sourcilières, à partir desquelles le crâne s'en allait en fuyant jusqu'au sommet de la tête. Tous ces caractères s'effacèrent graduellement, et, au début de l'époque actuelle, l'être humain était à peu près ce qu'il est aujourd'hui ; depuis, l'organisation du cerveau s'est seulement perfectionnée, sans qu'il en résulte un changement de volume notable.

En étudiant les formes des races humaines inférieures ainsi que leur industrie, on a trouvé des types comparables à ceux de Solutré et de la Madeleine, mais l'homme de Chelles a disparu partout. Au point de vue du développement de notre espèce, c'est encore l'hémisphère austral qui s'est montré le plus en retard. Au milieu des Marsupiaux, elle est restée dans un état d'infériorité absolument en harmonie avec cette faune bizarre. L'Australien est à peine comparable au type du Moustier, contemporain des grands glaciers. Dans l'hémisphère boréal, au contraire, l'homme a suivi le même développement que l'ensemble des Mammifères placentaires, et a atteint presque partout une perfection remarquable des hémisphères cérébraux ; en même temps son appareil masticateur diminuait de volume.

Ce retard dans l'évolution des vertébrés terrestres, spécial aux régions situées au sud de l'équateur, doit tenir à des circonstances géologiques qui nous sont encore peu connues. Mais les Européens, qui ont envahi ces contrées, nous donneront la solution de ce problème, lorsque, débarrassés des difficultés d'une colonisation encore récente, ils pourront se livrer aux recherches scientifiques qui font la gloire de leurs métropoles.

L'ancêtre tertiaire de l'Homme a laissé, comme nous l'avons déjà signalé, des traces d'une industrie rudimen-

taire, aidée de la connaissance du feu ; malheureusement, jusqu'ici aucun de ses ossements n'a été découvert, et nous ignorons quelle était sa conformation. Nous pouvons seulement induire, du volume de ses instruments de silex taillé, qu'il était de petite taille. Assurément ce n'était pas un Homme, car aucune des espèces qui l'entouraient, ne se retrouve dans les temps quaternaires : toutes se sont transformées ou ont disparu, du moins dans l'Europe occidentale ; tels sont les Singes et les Anthropoïdes au milieu desquels il vivait.

Si la paléontologie ne peut, quant à présent, nous servir de guide pour rattacher l'Homme à une espèce animale des temps tertiaires, l'anatomie comparée nous démontre jusqu'à l'évidence qu'il est en relation étroite de parenté avec la grande famille des Singes de l'ancien continent, et spécialement avec les Anthropoïdes. Lorsqu'on compare l'organisation des Singes qui progressent à l'aide de leur quatre membres, à celle de l'Homme qui se tient droit sur ceux de derrière, on constate une lacune que viennent combler les Orangs, les Chimpanzés et les Gorilles. Nous ne pouvons entrer ici dans les détails anatomiques qui démontrent que ces formes établissent une transition insensible entre le quadrupède et le bipède ; mais elles peuvent se résumer dans la particularité suivante, facile à constater par tout le monde. L'Anthropoïde a une attitude inclinée ; il progresse à l'aide des membres postérieurs demi-fléchis et ne se sert de ceux de devant, beaucoup plus longs que ceux des Singes ordinaires, que pour se soutenir : jamais il ne pose la paume des mains à terre, mais seulement la face dorsale de leurs dernières phalanges. Cette attitude intermédiaire est due à la faiblesse relative des muscles extenseurs de la cuisse sur le bassin, de la jambe sur la cuisse et du pied sur la jambe. C'est par leur *développement* progressif que le redressement

complet s'est opéré. En même temps, les membres antérieurs, ne servant plus de soutien, se sont raccourcis, et la forme humaine s'est, dès lors, constituée.

La conformation du cerveau et, partant, l'intelligence prouvent non moins évidemment que l'Anthropoïde est la forme de passage entre le Singe et l'Homme. A ce point de vue, il est même beaucoup plus éloigné du premier que du second, et la distance qui le sépare de l'Australien et du Boschiman de l'Afrique australe, n'est certainement pas beaucoup plus considérable, au point de vue de l'intelligence, que celle qui existe entre ces derniers et l'Européen.

Nous ne pouvons entrer ici dans les détails morphologiques des circonvolutions, à l'aide desquels on a démontré que les hémisphères cérébraux des Anthropoïdes établissent la transition entre les Singes ordinaires et l'Homme, et qu'on y trouve, en préparation, les parties les plus importantes du cerveau humain (1).

Je profiterai néanmoins de l'occasion pour exposer en peu de mots la signification que l'on doit donner aujourd'hui à ce que l'on appelle les *localisations cérébrales*.

Les circonvolutions et les plis qu'on observe sur la surface des hémisphères cérébraux de l'Homme et des Mammifères supérieurs, sont dus à la disproportion qui existe entre l'étendue de leur écorce grise, formée de cellules nerveuses, et la masse centrale qu'elle recouvre. Ces accidents superficiels affectent des formes constantes, parce que, dans la phylogénie comme dans l'ontogénie, ils sont le résultat de l'apparition successive, dans un ordre régulier, de groupes d'appareils nerveux simples dont l'ensemble caractérise l'espèce en observation.

Au commencement de ce siècle, les anatomistes, imbus

(1) Voir *Étude de la morphologie cérébrale* de M. le docteur Hervé, professeur à l'École d'anthropologie de Paris. Lecrosnier et Babé, 1888.

des doctrines philosophiques, s'imaginaient que la surface des hémisphères était une espèce de damier, dont chaque case était occupée par une des facultés intellectuelles, inventées par les philosophes. Gall a été plus loin : il a prétendu transporter ce damier sur la surface du crâne, et juger du développement des facultés par les saillies qu'il présente. La *Phrénologie* était une erreur inconsciente ou voulue, qui n'a pu obtenir quelque crédit que par le talent de son auteur et l'ignorance de ceux auxquels il s'adressait.

Aujourd'hui, toute cette science artificielle s'en est allée en fumée. Il est démontré que les prétendues facultés intellectuelles sont simplement les résultats des sensations dont le souvenir persiste, des idées qu'elles développent et des mouvements que les unes et les autres déterminent Sensations, idées et volitions, ont, pour siège, des éléments nerveux spéciaux.

Les hémisphères cérébraux de tous les Mammifères contiennent tout d'abord les cellules sensitives qui perçoivent les excitations reçues par la moelle, et les cellules volitives qui mettent en action ses cellules motrices.

Le cerveau le plus simple serait donc celui dans lequel seraient seulement représentées les cellules réceptrices et motrices de la moelle, et qui n'en différerait que par la présence de ces substances auxquelles il doit, d'une part, la sensibilité et la mémoire, et, de l'autre, la volition. Il est peu probable que cette simplicité existe, même chez les Squales et les Reptiles les plus inférieurs.

A ces éléments primordiaux viennent se joindre d'abord les cellules sensitives qui permettent d'apprécier les détails des objets qui excitent les organes des sens. L'acuité de ces derniers ne dépend pas seulement, en effet, de leur perfection anatomique, mais du nombre de cellules qui peuvent percevoir *les détails* des impressions. Ainsi, on sait

que, chez les animaux privés de leurs hémisphères, la moelle n'est excitable que par un bruit ou une lumière intenses; ce sont les cellules cérébrales qui, seules, peuvent percevoir et analyser les diverses espèces d'ondulations sonores et de vibrations lumineuses. Mais quelles différences nombreuses et variées entre les animaux à ce point de vue!

Sans parler des espèces qui, vivant continuellement dans l'obscurité, ont l'organe de la vision plus ou moins atrophié, prenons celles chez lesquelles il est aussi parfait instrument que possible, et sur la rétine desquelles l'image des objets se fait d'une manière bien nette. Non seulement il n'en est guère qui en perçoivent tous les détails, mais il n'en est peut-être pas deux qui perçoivent identiquement les mêmes; de même pour l'ouïe et l'odorat; et toutes ces différences se traduisent par un nombre plus ou moins considérable d'éléments récepteurs qui influent sur le volume du cerveau. Citons quelques exemples.

Le centre auditif des oiseaux chanteurs doit tenir une place plus importante que celui du Cygne ou de toute autre espèce plus ou moins muette. Deux cerveaux de même poids et de même volume, appartenant à un oiseau et à un mammifère tel que le Rat, sont absolument dissemblables quant à leur composition. Dans le premier, le centre visuel occupe la place principale; dans le second, ce sont les cellules qui correspondent aux terminaisons nerveuses des surfaces odorantes et gustatives, à peine représentées chez l'oiseau. En dehors de la sensibilité générale, qui a ses éléments récepteurs également représentés dans la moelle et dans le cerveau, il y a la sensibilité tactile, dont les cellules réceptrices siègent uniquement dans ce dernier et doivent y tenir une place proportionnelle aux surfaces réservées au toucher.

Le second facteur qui doit influer d'une manière considé-

rable sur l'étendue de la surface corticale des hémisphères, c'est le nombre des cellules motrices volitives, qui font exécuter aux mêmes muscles des mouvements autres que ceux que la moelle peut produire par action réflexe. Tels sont ceux qui concourent à la préhension, à la construction des habitations, aux soins à donner à la progéniture, au chant et à l'articulation des sons autres que les cris et les plaintes. L'Homme est sans contredit l'animal qui, avec le même muscle ou le même groupe de muscles, exécute les mouvements les plus variés et pour les motifs les plus différents ; les cellules motrices spéciales doivent donc entrer pour beaucoup, chez lui, dans la masse de substance grise du cerveau. Mais entre lui et le Crocodile, dont tous les mouvements volontaires paraissent avoir leurs représentants réflexes, il y a une foule de nuances que l'observation physiologique peut constater,en attendant que l'anatomie microscopique vienne les préciser.

Le troisième élément qui doit faire varier le volume des lobes cérébraux, c'est la masse plus ou moins considérable des cellules idéophores. Ces cellules ne sont pas encore anatomiquement spécifiées ; mais leur existence est physiologiquement démontrée. En effet, on perçoit et on retient les idées, comme on perçoit et on retient les sensations les plus simples. Cette manifestation physiologique doit donc avoir un siège spécial, qui doit être intermédiaire entre les cellules réceptrices sensitives et les cellules motrices volitives qui entrent en action sous l'influence des idées. Plus l'intelligence est élevée, plus cet intermédiaire a d'importance ; plus les idées sont nombreuses et compliquées, plus le volume et l'étendue de l'écorce cérébrale augmente.

Au fur et à mesure qu'on s'élève dans la généalogie des espèces, de nouveaux groupes d'éléments sensitifs, moteurs ou idéophores, s'ajoutent aux anciens, si bien que la surface des hémisphères, d'abord lisse, devient de plus en plus

anfractueuse ; c'est ce qu'on observe dans l'ordre des Primates, quand on s'élève des Singes inférieurs aux Anthropoïdes et ensuite à l'Homme.

Les expériences de vivisection sur les animaux et les altérations pathologiques chez l'Homme, ont démontré que les cellules motrices volitives occupent les régions antérieures du cerveau, et les cellules réceptrices sensitives, les parties postérieures, absolument comme dans la moelle, avec cette différence qu'il n'y a pas de limite bien tranchée entre les deux groupes, et qu'il peut exister certains empiétements d'une région sur l'autre.

Les mêmes observations et expérimentations ont établi que, chez le Singe ordinaire et chez l'Homme, les cellules de la sensibilité visuelle occupent la région pariétale moyenne, et celles de la sensibilité auditive, la région temporale postérieure. Le groupe de cellules motrices des yeux et celui des oreilles se trouvent plus ou moins engagés dans les cellules relatives aux organes des sens qu'ils mettent en mouvement. Les groupes moteurs des membres antérieurs et postérieurs sont situés, l'un en avant, l'autre en arrière de l'extrémité supérieure d'un grand sillon vertical, dit de Rolando, qui sépare la région pariétale de la région frontale. En avant de son extrémité inférieure sont les cellules motrices de la face et de la cavité buccale (1). Chez le Chien, le groupement des cellules sensitives et motrices volitives de même ordre occupent à peu près les mêmes contrées de la surface cérébrale que chez le Singe.

Il va sans dire que chez l'Homme, les mêmes départements ont une bien plus grande étendue que chez les animaux dont nous venons de parler. Parmi les groupes moteurs et sensitifs, il en est quatre qui ont été déterminés

(1) Voir Ch. Féré, Anatomie *médicale du système nerveux*, p. 117 et suivantes.

avec précision : ce sont ceux relatifs au langage articulé et au langage écrit (1). La première circonvolution temporale est occupée par les éléments nerveux qui perçoivent la parole. De l'autre côté du sillon, dit scissure de Sylvius, par conséquent directement en avant, on trouve les cellules motrices de l'articulation des mots, qui constituent la partie postérieure de la circonvolution frontale inférieure (circonvolution de Broca). C'est précisément dans cette région que se trouvent rassemblées, chez le Singe, les cellules volitives qui président à l'ouverture de la bouche, ainsi qu'à l'extension et à la rétraction de la langue. Au centre du département relatif à la sensibilité visuelle sont réunies les cellules qui perçoivent l'écriture. Enfin, en avant du centre moteur du bras, à la partie postérieure de la deuxième circonvolution frontale, on trouve réunies les cellules qui meuvent l'avant-bras et la main pour former les caractères de l'écriture.

Lorsque ces différents centres sont détruits isolément par une altération quelconque, le malade est atteint soit de surdité verbale, soit de cécité scripturale, soit d'une paralysie des mouvements relatifs à l'écriture, soit d'aphasie ou impossibilité de parler. Néanmoins, il n'est ni sourd, ni aveugle, et exécute tous les autres mouvements de l'avant-bras et de la main, ainsi que ceux de la langue et de la paroi buccale. L'aphasique a conservé la voix ; l'articulation des mots lui fait seule défaut.

Ces découvertes, dont la première en date, celle de l'aphasie, est due au professeur Paul Broca, de la Faculté de médecine de Paris (1861), ont jeté un jour tout nouveau sur la fonction cérébrale et renversé à jamais l'échafau-

(1) Voir docteur Fauvelle, in *Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris*, 1886 : *Du langage articulé*, p. 636 ; Du langage *écrit*, p. 760.

dage des conjectures élevées par les philosophes au sujet de l'intelligence humaine.

La partie de l'écorce grise des hémisphères, où siègent les cellules nerveuses qui perçoivent et retiennent les idées, n'est pas encore connue. Je dois dire, néanmoins, que, dans le ramollissement général du cerveau, lorsque la couche la plus superficielle est seule atteinte, le malade ne présente que de la démence, c'est-à-dire la perte des idées acquises et l'impossibilité d'en acquérir de nouvelles. C'est seulement lorsque la désorganisation des tissus gagne en profondeur, que diverses formes de paralysie motrices ou sensitives apparaissent.

Les Anthropoïdes vivants sont trop rares dans les laboratoires de physiologie, pour qu'on ait pu exécuter sur leur cerveau les mêmes expériences que sur celui des Singes ordinaires. Mais, comme nous l'avons dit, la morphologie indique bien qu'il sont intermédiaires entre les Pithéciens et l'Homme.

On compte seulement aujourd'hui quatre espèces d'Anthropoïdes, et aucune ne peut être regardée comme ancêtre d'un groupe humain quelconque. Elles sont, à n'en pas douter, issues des mêmes Singes quadrupèdes que les races humaines nées dans la même contrée qu'elles. Ainsi, l'Homme quaternaire de l'Europe occidentale a eu une origine spéciale; son ancêtre tertiaire avait d'autres Anthropoïdes comme contemporains et sans doute comme alliés de famille. Lui seul, en se transformant, a pu subir les modifications du milieu ambiant; les autres ont succombé.

En effet, on ne saurait trop le répéter, l'évolution des êtres a eu lieu sur une foule de points et à des époques plus ou moins éloignées les unes des autres. C'est ainsi seulement que peut s'expliquer la multitude de formes des animaux de la même classe, et les divers degrés de transformation qu'ils présentent.

L'existence d'un couple unique, comme point de départ d'une espèce quelconque, n'a jamais été démontrée, et les savants qui l'ont admise pour l'Homme, sont partis d'une idée préconçue qui les a entraînés hors de la voie de la vraie science. Prétendre que l'Australien est issu de la même souche, par exemple, que le Français, est aussi raisonnable que d'admettre que les Marsupiaux de la Nouvelle-Hollande sont les descendants de ceux dont on retrouve les restes dans les couches tertiaires du bassin parisien.

Ce sont les conjectures philosophico-religieuses qui sont l'origine de l'idée d'un couple humain primitif, et leurs partisans sont naturellement les adversaires déclarés du transformisme. Mais, comme la vérité ne perd jamais ses droits, ils sont forcés d'avoir recours à cette doctrine pour expliquer la diversité des races humaines. Ainsi, suivant eux, c'est l'Homme blanc qui est sorti des mains du Créateur, avec les qualités intellectuelles les plus parfaites; s'il a, par la suite des temps, donné naissance aux races jaune, rouge et noire, avec tous leurs types plus ou moins dégradés, c'est aux circonstances de milieu qu'il faut l'attribuer. Une fois lancé dans cette voie, pourquoi s'arrêter? Puisque le Français, le mieux doué au point de vue physique et intellectuel, a pu se transformer en Boschiman ou en Négritos des îles Andaman, ceux-ci ont très bien pu produire, par suite des modifications du milieu ambiant, le Chimpanzé et l'Orang, dont ils sont moins éloignés que de l'Européen; les Anthropoïdes, à leur tour, auraient donné naissance aux Singes ordinaires, et ainsi de suite. C'est le transformisme à rebours. Je n'insiste pas; ce que je viens de dire suffit pour montrer que les monogénistes ne peuvent qu'errer dans le domaine de la fantaisie.

Les circonstances climatériques, qui sont les causes les plus efficientes de la transformation des êtres organisés, *agissent sur toute* une zone de la sphère terrestre; il n'y a

donc rien de surprenant que le Cheval ait évolué en Amérique comme en Europe, et il est inutile, pour expliquer sa présence sur ces deux points, de supposer, sans la moindre preuve, qu'à une époque géologique peu éloignée de la nôtre, les deux continents communiquaient à travers l'Atlantique par une langue de terre plus ou moins étendue. De même l'Homme a pu apparaître simultanément ou successivement en Europe, en Asie, en Afrique, en Amérique et en Océanie. Seulement, le point d'émergence des espèces actuelles est difficile à spécifier à cause des migrations qu'elles ont opérées, et de la disparition d'un certain nombre d'entre elles.

Revenons à la généalogie de l'homme. Sa parenté avec les Anthropoïdes, si bien établie par l'anatomie comparée, est confirmée par l'ontogénie. L'enfant, dans les premiers mois qui suivent sa naissance, affecte une attitude analogue à celle du Chimpanzé et de l'Orang : les extenseurs des membres postérieurs sont faibles et ne permettent pas la station bipède, alors que déjà les mouvements des bras et leur précision sont très accentués. Mais c'est surtout la première dentition qui présente des caractères ancestraux remarquables. Si l'on compare les mâchoires d'un enfant de quatre à cinq ans avec celles d'un jeune Orang, la similitude est indéniable. Les prémolaires sont, dans les deux cas, composées chacune de quatre denticules ; la distinction ne s'établit qu'à la seconde dentition. La mâchoire de l'Orang adulte a continué à se développer, et ses prémolaires nouvelles comprennent toujours quatre dents élémentaires, tandis que chez l'Homme elles sont réduites à deux, l'espace qui leur est destiné, ayant conservé les mêmes dimensions que dans l'enfance.

Le contraire a eu lieu pour l'encéphale. Son développement s'arrête chez les Anthropoïdes au moment du passage à l'état adulte ; chez l'homme, au contraire, il con-

tinue longtemps encore à progresser. Les races humaines inférieures se rapprochent des premiers à ce point de vue. Ainsi, les jeunes Boschimans et les jeunes Fuégiens de huit à dix ans se montrent presque aussi intelligents que les enfants de nos pays; mais à partir de douze ou quatorze ans, ils ne progressent plus et deviennent de vrais sauvages, malgré tous les efforts que l'on puisse faire pour développer leur intelligence; ce n'est qu'après un grand nombre de générations que l'on peut obtenir une légère amélioration de la race. C'est ce qui est arrivé aux Nègres africains, transplantés en Amérique il y a cent cinquante ou deux cents ans; néanmoins, ils présentent encore de nombreux signes d'infériorité.

D'après ce que nous avons dit précédemment, il est certain que les Anthropoïdes sont issus des Singes quadrupèdes de l'Ancien continent, qui les ont précédés de longtemps à l'époque tertiaire, et ceux-ci proviennent non moins évidemment des Lémuriens, tels que les Makis. Certaines espèces, parmi ces derniers, sont difficiles à classer: l'Indri, par exemple, est lémurien dans son enfance et devient singe à l'état adulte par la dentition et une foule d'autres caractères anatomiques et physiologiques. Enfin, la paléontologie a découvert, dans les couches tertiaires inférieures, un lémurien, l'Adapis, qui présente des caractères mixtes qui le rapprochent de bon nombre d'animaux aux formes indécises et aux caractères marsupiaux plus ou moins prononcés, tels qu'on les rencontre à ce niveau.

Ici, la généalogie de l'Homme, car c'est toujours elle que nous suivons, présente une lacune, les ancêtres de l'Adapis nous sont inconnus et nous ignorons la forme reptilienne qui leur a donné naissance.

Mais, pour le reste de la série ancestrale, l'ontogénie, comme nous l'avons déjà signalé, nous donne les détails les *plus précis et les* plus intéressants. D'abord, le stade

reptilien est indiqué par la période durant laquelle le ventricule du cœur reste sans cloison ; à ce moment, les poumons, encore très rudimentaires, présentent la forme de sacs, comme ceux des Reptiles. Leur production suit immédiatement l'oblitération des fentes branchiales, qui représentent le stade poisson et sont accompagnées d'une circulation absolument comparable à celle des Squales. A une période encore moins avancée, les segments, parfaitement visibles, contiennent presque tous un tube urinifère analogue à l'organe segmentaire des Vers, et disposé comme ceux de la Lamproie. On y trouve également des spores reproductrices sexuées qui, plus tard, produiront les ovules et les spermatozoïdes. Enfin, l'embryon humain est invertébré, lorsque la gouttière médullaire entoure l'orifice de la gastrula. Si elle restait ouverte, le processus nerveux se ferait autour de cette ouverture, comme chez tous les invertébrés. Ce n'est que lorsque le tube commence à se fermer que la transformation s'opère, ainsi que nous l'avons exposé plus haut.

La gastrula de l'Homme contient, dans la paroi opposée à celle où se développera l'embryon, une certaine quantité de matériaux nutritifs, mais beaucoup moins que celle des Marsupiaux et surtout que celle des ovipares, comme l'Ornithorhynque, l'oiseau, etc. L'embryon humain se nourrit donc momentanément à la manière de celui des Kanguroos, mais bientôt le développement de l'allantoïde donne naissance au placenta, et c'est le sang de la mère qui fournit alors les éléments de la nutrition.

Il va sans dire que cette gastrula a pour origine l'œuf fécondé, dont les caractères d'amibe ont été bien des fois démontrés. Il se segmente de manière à former une sphérula plus ou moins régulière, que l'invagination transforme en gastrula.

L'Homme, dans son évolution ontogénique, est donc suc-

cessivement amibe, polype simple, ver, poisson, reptile, marsupial, et enfin mammifère, avec des formes variées dont la dernière rappelle l'anthropoïde.

Il serait facile d'exposer de la même manière la généalogie des autres espèces animales, et l'on verrait que toutes, à un moment quelconque de leur vie embryonnaire, présentent une identité presque complète. Ainsi, on peut mettre en présence des embryons de Reptile, d'Oiseau, de Chien et d'Homme, et il sera impossible de les distinguer, s'ils sont tous au même degré de développement. La main de l'homme ne se distinguera pas de la patte du Chien et du reptile, ni de l'aile de l'oiseau ou de la Chauve-souris. Comme eux, il aura une queue qui ne s'atrophiera que plus tard, lorsqu'il approchera de la forme anthropoïde.

§ 6. L'INTELLIGENCE ET L'INSTINCT.

Mécanisme de l'intelligence.
Facultés intellectuelles. Instincts proprement dits.
Actes instinctifs ou réflexes conscients ;
Actes réfléchis ou intelligents ; leur mélange.
Aptitudes ; vocation ; caractère.

En esquissant à grands traits l'histoire du règne animal, nous avons cherché à bien faire comprendre ce que l'on doit entendre par intelligence. Les courants nerveux, mis en mouvement par les excitations périphériques sensorielles, impriment, sur les cellules réceptrices des hémisphères cérébraux ou des ganglions cérébroïdes, des sensations qui sont perçues et retenues. Leur présence simultanée sur plusieurs éléments amène forcément une comparaison, d'où résulte une idée que la nervosité, continuant son trajet, fixe sur une cellule spéciale. De deux idées en présence résulte une troisième que les courants fixent également, et ainsi de suite, suivant la richesse de l'organe

en cellules sensitives et à idées. De là, les courants passent aux cellules motrices volitives, qui les distribuent, suivant des proportions déterminées par la nature et l'intensité des perceptions, sur des groupes de muscles, pour produire des actes appropriés. Si la nervosité est épuisée dans la première partie du trajet, soit par suite de sa longueur, soit à cause de son peu d'abondance, l'opération intellectuelle ne donne lieu à aucun acte. Si, au contraire, l'excitation périphérique est violente, les courants prennent une allure rapide et passent directement des cellules sensitives aux cellules volitives, impuissantes à les arrêter et même à les graduer. Alors les mouvements sont violents et irréfléchis. Enfin, lorsque deux idées contraires sont en présence, le courant de la plus intense produit, seul, un acte effectif ; celui de la plus faible est arrêté par les cellules volitives, vers lesquelles il est dirigé.

Tel est le mécanisme de l'intelligence, et l'expression est absolument exacte. Les seules propriétés cérébrales auxquelles on pourrait donner le nom de facultés sont donc seulement la *Sensibilité* et la *Mémoire,* dont sont douées les cellules réceptrices et à idées, et la *Volonté*, qui permet aux cellules motrices d'arrêter ou de nuancer le courant de nervosité qui se dirige vers les muscles. Les prétendues facultés des philosophes ne sont que les divers résultats auxquels peut donner naissance une opération cérébrale, et dont la nature dépend absolument de celle des sensations.

Ainsi, l'*entendement*, le *jugement*, le *discernement* ne sont que des idées plus ou moins complexes résultant de sensations perçues et retenues ; l'*attention* est produite par des idées ou des sensations plus intenses et plus nettement perçues; la *volonté* des philosophes est un acte déterminé par une série de sensations et d'idées; si ces sensations et ces idées n'avaient pas été produites par le courant de nersité, l'acte n'aurait pas eu lieu. Il n'y a de réellement

volontaire que la contraction musculaire excitée par les cellules volitives, lorsque le courant n'est pas trop intense. Quant aux facultés dites affectives, ou sentiments, elles ne sont que la résultante de sensations et d'idées agréables ou pénibles dont le souvenir persiste avec plus ou moins d'intensité.

L'intelligence n'est donc, en réalité, qu'un phénomène physico-chimique de nervosité ; son importance ou, comme on dirait, son élévation, dépend uniquement du nombre et de la qualité des appareils nerveux des hémisphères cérébraux.

Mais, dira-t-on, l'intelligence, suivant vous, ne serait donc pas distincte de l'instinct? — Ce qui va suivre répondra à cette question.

D'après Littré, « l'instinct est un mode d'activité du cerveau, qui porte à exécuter un acte, sans avoir notion de son but, et à employer les moyens toujours les mêmes, sans chercher à en créer d'autres. » Nous ne nous arrêterons pas à discuter les termes de cette définition ; le lecteur verra bientôt qu'elle contient presque autant d'erreurs que de mots.

C'est qu'en effet il est très difficile,pour ne pas dire impossible, de donner une bonne définition d'un mot aussi vague que celui d'instinct. Dans le langage ordinaire, comme dans le langage scientifique, on l'applique à une foule de phénomènes très différents, qui n'ont de commun que d'être le résultat de l'activité physico-chimique des êtres organisés. Il est également impossible de le distinguer nettement de l'intelligence, et de préciser le point où l'un finit et l'autre commence.

Nous laisserons donc de côté toutes ces considérations préliminaires, qui ne peuvent mener à rien d'exact, et nous nous contenterons de passer en revue les phénomènes dits *instinctifs*, et de les analyser pour en rechercher les ori-

gines et les causes. Nous verrons ensuite s'il est possible de les maintenir groupés ensemble, ou bien si, trompé par les apparences, on a confondu sous le même vocable des faits parfaitement distincts, erreur qui se rencontre si fréquemment, lorsque les recherches scientifiques sont entravées par des préjugés invétérés.

On remarquera tout d'abord que l'on a donné le nom d'instinct à des manifestations qui sont uniquement le résultat des affinités du protoplasme des cellules élémentaires des êtres organisés.

Tel est le choix du régime alimentaire. Il est bien certain que ce choix, qui s'observe aussi bien chez les plantes que chez les animaux, n'est pas primitivement du ressort du système nerveux et, par conséquent, de l'intelligence. Ce ne sont pas des comparaisons antérieures qui guident les Herbivores et les Carnassiers, lorsqu'ils se repaissent les uns de végétaux, les autres de chair vivante ou morte. Il y a impulsion primitive, et c'est l'affinité chimique de leurs principes organiques respectifs, qui les porte vers l'un ou l'autre de ces aliments. Le système nerveux n'intervient que pour leur recherche et les moyens de se les procurer. C'est alors seulement qu'on les voit faire usage de leur intelligence au prorata des difficultés qu'ils rencontrent. L'instinct impulsif, l'affinité, est le phénomène initial.

Il en est de même dans le rapprochement des sexes. L'affinité, qui tend à fusionner l'élément mâle et l'élément femelle, est le premier mobile ; on le rencontre aussi bien chez les plantes que chez les animaux. Elle agit même seule dans tout le règne végétal et dans les espèces animales inférieures à fécondation externe ; le rôle des porteurs de ces éléments se limite alors à les expulser et à les laisser agir en liberté. Au fur et à mesure qu'on s'élève dans les diverses séries zoologiques, leur maturité provoque certaines excitations qui mettent en action certains appareils

nerveux médullaires à pouvoir réflexe; puis l'intelligence, c'est-à-dire le cerveau, intervient pour surmonter les difficultés qui surgissent. Lorsque les circonstances de milieu nécessitent l'accouplement, le mode par lequel il se fait dépend uniquement de la conformation du mâle et de la femelle. Ce mode ne peut être le même chez le Dytique et l'Hydrophile que chez la Ranâtre, chez le bipède que chez le quadrupède.

Dans les deux sortes d'instincts dont nous venons de parler, l'affinité présente un caractère chimique bien évident, puisqu'il y a combinaison entre les deux substances qui sont poussées l'une vers l'autre ; mais cette propriété des molécules organiques peut se manifester par une simple tendance au rapprochement des êtres ; elle est alors de même ordre que celle que l'on observe dans les organismes pluricellulaires, et dont elle maintient les éléments en contact.

C'est à elle qu'il faut attribuer l'origine première des liens qui unissent les petits à leurs parents, les frères entre eux, les individus d'une même race, ou ceux de races différentes que le même milieu a plus ou moins identifiés. Nous avons vu cette affinité agir d'une manière effective chez les végétaux à spores adhérentes et dans le grand embranchement des polypiers ; elle unit également entre eux les segments disposés en série linéaire chez les animaux à symétrie bilatérale. Dans les groupements d'individus, dont nous parlons, elle est moins intense, et voilà tout. En effet, alors, l'impulsion initiale est faible et peut être annihilée au moment de sa première manifestation par une foule de circonstances extérieures. Dans le cas contraire, une multitude de sensations viennent bientôt mettre en action le système nerveux et l'intelligence. L'impulsion est ainsi complétée, exagérée même, et on la perd de vue. Elle n'en est pas moins l'origine primordiale de l'instinct maternel et de l'instinct social. Être du même sang, telle est

la traduction de ce phénomène attractif, en langage vulgaire.

On a encore donné le nom d'instinct à des phénomènes qui se rattachent directement au système nerveux, ce qui légitime, dans une certaine mesure, la définition de Littré, avec cette différence que le cerveau proprement dit y reste complètement étranger. C'est au sujet de ces espèces d'instincts que les philosophes et même les naturalistes, qui sont restés philosophes à ce point de vue, ont si longtemps et si longuement péroré, il faut le dire, sans y rien comprendre. Examinons ces faits au point de vue purement biologique pour tâcher de nous en rendre un compte exact et précis.

Lorsqu'on enlève les hémisphères cérébraux à un batracien, à un oiseau et même à un mammifère très jeune, comme l'a fait dans ces derniers temps M. le docteur Laborde, directeur des travaux physiologiques de la Faculté de médecine de Paris, et qu'on les excite par un contact plus ou moins violent, ils exécutent une série de mouvements parfaitement coordonnés, qui feraient croire à une perception quelconque de leur part. Il n'en est cependant rien; ce sont de simples actes réflexes, produits mécaniquement. Le courant de nervosité a passé par un ou plusieurs des centres nerveux qui constituent l'axe cérébro-spinal, sans y laisser de trace, c'est-à-dire de souvenir. Si les mêmes excitations provoquent l'animal intact, il exécute les mêmes mouvements absolument de la même manière et dans le même ordre ; seulement il perçoit la douleur, s'en souvient, et peut les faire suivre d'une série d'autres actes qui lui permettent de fuir le contact pénible. Les premiers sont dits instinctifs et les autres intelligents. Ainsi, lorsqu'on approche brusquement un objet de l'œil de l'homme, il le ferme instinctivement, puis, par un geste intelligent, il *écarte le* corps étranger.

Les mouvements instinctifs sont donc des réflexes conscients, ne variant jamais, puisqu'ils dépendent des connexions qui unissent les appareils nerveux mis en jeu par l'excitation de l'extrémité de leurs filets cutanés. Les autres sont le résultat de ce qu'on appelle ordinairement une réflexion, c'est-à-dire d'idées plus ou moins nettes, plus ou moins complexes, que les sensations douloureuses d'abord, puis des souvenirs joints à d'autres perceptions actuelles, ont développées. Ainsi, dans un animal quelconque, les mouvements instinctifs, ou mieux, réflexes conscients, auront d'autant plus d'importance aux yeux des observateurs, que cet animal aura moins d'idées, et, par suite, moins de mouvements réfléchis et calculés. Au contraire, plus il aura d'idées, moins ce qu'on appelle improprement l'instinct, sera appréciable, par suite des nombreux actes intelligents dont il fera suivre les actes réflexes mécaniques. C'est précisément ce qui arrive chez l'Homme dont les hémisphères sont si puissants et les idées si nombreuses.

Les mouvements instinctifs n'ont donc rien de commun avec l'instinct du choix du régime alimentaire, de la propagation de l'espèce, etc.; ils ne sont jamais spontanés comme ceux-ci, mais suivent toujours une excitation nerveuse, perçue ou non. Tous les actes des animaux, que l'on attribue à l'instinct, sont de ce genre.

Entrons dans quelques détails pour nous faire mieux comprendre.

Dans le vaste embranchement des animaux à gastrulas accolées plus ou moins intimement, tels que les Polypes et les Échinodermes, on ne constate, en général, que des réflexes conscients, ce qui s'explique par l'état rudimentaire du système nerveux et l'absence plus ou moins complète des organes des sens spéciaux. C'est uniquement chez les animaux *à segments* disposés en série linéaire et à symétrie

bilatérale, que les mouvements instinctifs peuvent être entremêlés d'actes réfléchis ou intelligents. Dans l'embranchement des Invertébrés, le nombre de ces derniers est en raison directe du développement des ganglions cérébroïdes, et, chez les Vertébrés, il est proportionnel à celui des hémisphères cérébraux.

Toutes les contractions musculaires relatives à la station, à la marche et à la course, à la mastication, à la déglutition et à la défécation, à l'expulsion des produits sécrétés, à la défense initiale, à la joie et à la colère, au cri, au rapprochement des sexes et souvent même à la construction des abris pour les adultes ou les petits, toutes ces contractions, dis-je, sont produites par l'action pour ainsi dire mécanique des ganglions ou des sections de l'axe médullaire mis en jeu par des sensations internes ou externes ; elles sont invariablement les mêmes. C'est ainsi que les nids ont toujours la même forme, spéciale à chaque espèce d'oiseau.

Cependant, dans ce dernier cas, il entre en jeu d'autres éléments dont il faut tenir compte : c'est la forme du corps de l'animal et celle des organes préhenseurs, extrémités antérieures et postérieures, et orifice buccal. Lorsque les matériaux de construction ne sont pas des produits de sécrétion, comme ils le sont chez les Araignées et un grand nombre d'Insectes, l'intelligence intervient souvent. Les constructeurs prennent généralement ceux qui sont à leur portée, et qui sont plus ou moins en rapport avec leur taille, la forme de leurs instruments et leur adresse. Ainsi, naturellement, l'Aigle ne peut choisir pour son nid des matériaux aussi fins que les petites espèces de passereaux, et il lui est impossible de les disposer aussi artistement. Il y a ici la même différence qui existe entre les ouvrages d'une femme mignonne et délicate, et ceux d'un hercule forain ou d'un grossier terrassier.

La construction du nid des Insectes est sollicitée par la sensation interne de la maturité des œufs, qui coïncide avec celle de la plénitude des glandes à filières, ou par cette dernière seulement, comme chez le Ver à soie. La perception plus ou moins consciente de la gestation pousse également les Oiseaux et les Mammifères à construire un abri pour leur progéniture.

L'intelligence intervient surtout dans les difficultés à vaincre. Si elles sont insurmontables ou l'intelligence insuffisante, le travail n'a pas lieu. C'est ce qui arrive souvent lorsqu'on tient l'animal en captivité; alors il cesse même de se reproduire. Il faut également tenir compte de l'enchaînement des faits, qui amène la continuité des actes, entraîne l'animal et fixe son attention. Si cet enchaînement est rompu, si les circonstances extérieures ou le défaut d'intelligence ne lui permettent pas de le renouer, le travail cesse sans retour. Ainsi, quand on enferme, même dans une volière spacieuse, un couple d'oiseaux avec leur nid rempli de leur progéniture, quoi qu'on fasse, le père et la mère cessent de couver les œufs ou de donner des soins aux petits, s'ils sont éclos, quelquefois même ils les tuent et les dévorent. Les sensations pénibles dues à la claustration déroutent l'animal et le surexcitent.

Il ne faut pas croire que, malgré l'apparence mécanique de leurs actes, les animaux doués seulement de mouvements réflexes ou instinctifs soient dépourvus de sensibilité et de mémoire, en même temps que du pouvoir de nuancer ces mouvements. Cette intelligence rudimentaire existe réellement, les idées seules font défaut. L'exemple de l'Huître va nous le démontrer.

Ce mollusque acéphale, qui, complètement privé d'organes des sens spéciaux, ne possède que le tact, a des ganglions cérébroïdes excessivement petits; on peut donc le considérer *comme réduit aux* mouvements réflexes conscients.

Lorsqu'on arrache l'Huître à son banc, elle ferme instinctivement ses valves, mais, bien qu'exposée à l'air, elle les rouvre bientôt et meurt rapidement asphyxiée. Si on la replonge à temps dans son milieu aquatique et qu'on l'en retire plusieurs fois successives, comme il arrive dans les opérations du parcage, elle s'instruit par l'expérience, et, mise ensuite hors de l'eau, elle se maintient close jusqu'à l'épuisement de ses forces, c'est-à-dire tant qu'elle n'a pas consommé tout l'oxygène que lui fournit le liquide que ses valves renferment. C'est ainsi qu'on arrive à conserver ces mollusques comestibles durant un temps suffisamment long pour pouvoir leur faire parcourir de longs trajets et attendre le bon plaisir des acheteurs.

Les manifestations de l'intelligence ne sont donc pas complètement étrangères aux prétendus instincts. C'est cette particularité, jointe au mélange continuel d'actes réflexes conscients et d'actes réfléchis et combinés, qui a tant obscurci la question qui nous occupe. Pour comble, à une époque où on ne croyait pas indispensable de faire remonter tous les phénomènes à une cause matérielle, on a fait de l'instinct une abstraction, un être de raison, un principe, en un mot l'âme des bêtes, naturellement tout autre que celle de l'homme. C'est encore sur ces données vagues et anti-scientifiques que l'on table, même en physiologie, lorsqu'on parle de l'instinct et de l'intelligence.

En nous basant sur l'observation et l'expérimentation, nous venons de voir qu'il est permis d'induire que les actes instinctifs et les actes intelligents sont des manifestations physiologiques de différentes parties du système nerveux; ce sont des phénomènes de nervosité plus ou moins simples, plus ou moins compliqués, mais toujours identiques quant à leur nature.

En effet, il ne faut pas croire que, même chez l'Homme, les fonctions du centre nerveux cérébral soient indéfiniment

variables. Elles sont sous la dépendance complète de son organisation ; c'est elle qui décide des *aptitudes*, qui pourraient être qualifiées d'instincts aussi bien que les actes réflexes conscients de la chaine ganglionnaire. Comme la moelle, le cerveau donne naissance à des mouvements coordonnés d'une manière fixe, et se produisant sous l'influence d'excitations spéciales, il n'en diffère que par la possibilité de percevoir des idées ou des sensations combinées, et ces idées elles-mêmes sont limitées, comme quantité et comme qualité, par le nombre, les connexions et la différenciation plus ou moins complète des éléments cellulaires qui en sont le siège. Dans le système nerveux, tout est réglé par l'organisation, aussi bien dans la masse des hémisphères cérébraux que dans le moindre ganglion, aussi bien chez le polype le plus inférieur que chez l'homme de génie.

Il est bien clair que c'est de l'organisation cérébrale que dépendent les aptitudes au talent musical, aux conceptions mathématiques, à l'art oratoire, à l'imagination, à la poésie, à l'adresse et à la dextérité, comme c'est l'organisation de la chaîne ganglionnaire qui règle les actes des animaux inférieurs. L'éloquence de Gambetta est de même ordre que le talent de tisserand de l'Araignée; elle n'aurait pas existé, sans le développement si remarquable de sa troisième circonvolution frontale, c'est-à-dire du centre moteur de l'articulation du langage.

Il faut des excitations extérieures pour la manifestation des aptitudes intellectuelles, comme pour celle des réflexes conscients. Il faut la tribune ou le barreau pour mettre en jeu l'éloquence, comme il faut la présence, dans l'oviducte des oiseaux, d'œufs en voie de développement, pour mettre en jeu l'art de faire un nid. Ces excitations dépendent des circonstances de milieu ; si ces circonstances ne sont pas favorables, les aptitudes ne se manifestent pas ;

elles restent à l'état latent, et l'homme qui les possède dans ces conditions est rangé dans la catégorie des déclassés. Il se trouve dans les mêmes conditions que les animaux captifs, dont nous parlions tout à l'heure. L'aptitude, c'est la *vocation* à laquelle on donne même quelquefois le nom d'instinct. On pourrait dire, avec autant de raison, que le Ver à soie, à un moment de sa vie, a la vocation de faire un cocon pour s'enfermer et se protéger.

A côté des aptitudes se place ce qu'on appelle le *caractère* qui fait que telle classe animale, telle espèce, telle race, tel individu, sont irritables ou apathiques, vifs ou lents, doux ou colères, actifs ou indolents; ces qualités bonnes ou mauvaises dépendent de la constitution du système nerveux, qui, comme toutes les substances organiques, sans perdre ses propriétés fondamentales, peut présenter des variations dans sa composition moléculaire, d'où résultent des différences dans les manifestations dont il est le siège.

Le caractère et les aptitudes spécifient non seulement les individus, mais encore les groupes ethniques homogènes, par ce fait qu'ils sont héréditaires, comme la qualité des organes dont ils dépendent. Néanmoins ils sont susceptibles de se transformer même complètement au bout d'un certain nombre d'années. C'est ainsi que les mœurs et le genre des productions intellectuelles d'une nation, peuvent se modifier d'âge en âge. C'est l'esprit du siècle, dit-on ; on pourrait dire avec autant de raison son instinct.

Il ne faut pas conclure de ces faits que les mœurs et les idées sont héréditaires et se transmettent des ancêtres à leurs descendants plus ou moins directs. L'organisation seule est soumise à l'hérédité ; c'est l'éducation, l'exemple, et toutes les circonstances de milieu, qui propagent mœurs et idées de générations en générations. Ainsi s'expliquent

ces similitudes de vues qui ont frappé certains observateurs et leur ont fait dire, par exemple, que tel savant tenait, par hérédité, ses idées scientifiques de son père ou de son grand-père.

Les mœurs plus douces et les tendances scientifiques du dix-neuvième siècle, en Europe, sont le résultat des transformations de l'organisation du système nerveux en général et spécialement des hémisphères cérébraux, c'est-à-dire du caractère et des aptitudes, aux manifestations desquelles la Révolution de 1789 a donné un libre essor.

En résumé, les dénominations d'instinct et d'intelligence ne sont exclusivement applicables à aucune des manifestations des propriétés du système nerveux. L'Huître exécute intelligemment ses mouvements dits instinctifs, et l'Homme de génie suit instinctivement sa vocation, autrement dit ses aptitudes. Mais, en aucun cas, il n'y a réellement impulsion primitive; des excitations internes ou externes sont toujours nécessaires.

L'affinité protoplasmique peut seule donner naissance à une impulsion réellement spontanée. C'est à elle que sont dus les véritables instincts, celui du régime alimentaire, celui du rapprochement des sexes, celui qui unit la progéniture à ses auteurs et enfin l'instinct social ou *lien du sang;* c'est elle qui maintient unis les individus nés de spores adhérentes dans les végétaux terrestres, groupe les polypiers en colonies, les herbivores en troupeaux et les hommes en famille, *gens*, cités et nations.

Dans le Règne animal, tous ces instincts se développent, se compliquent et se perfectionnent par une foule d'actes réflexes conscients et d'actes réfléchis et calculés; le nombre et l'importance de ces derniers est en raison directe de la multiplication des éléments divers qui constituent les hémisphères cérébraux.

§ 7. L'HÉRÉDITÉ CHEZ LES VÉGÉTAUX ET LES ANIMAUX.

Il me reste, avant d'aller plus loin, à préciser aussi nettement que possible ce que l'on doit entendre par phénomènes héréditaires. Leur existence ne peut être mise en doute : elle est la conséquence forcée du mode de reproduction des êtres organisés, reproduction qui n'est, en dernière analyse, qu'une bipartition absolument exacte de tous les éléments qui constituent la cellule vivante.

Dans les Végétaux, dont les éléments ne se différencient que par leurs productions, c'est une cellule comme toutes les autres qui, dans des conditions spéciales de nutrition, reproduit la plante : c'est la spore libre ou adhérente. Si ces spores sont incomplètes et ont besoin de s'unir à d'autres qui en sont complémentaires, l'hérédité n'en est pas moins forcée, puisque leur origine est la même.

Dans le Règne animal, les spores, libres ou adhérentes, complètes ou incomplètes, se trouvent dans des conditions identiques, puisque, comme nous l'avons vu, elles s'isolent avant toute différenciation, même dans les organismes les plus élevés et les plus compliqués.

Ce qui importe, ce n'est pas de démontrer que l'auteur transmet des caractères spéciaux à son produit, mais de préciser quels sont ces caractères. C'est ce que nous allons essayer de faire.

On distingue trois espèces d'hérédités : l'hérédité directe, l'hérédité provenant d'un ancêtre plus ou moins éloigné, ou *atavisme*, et l'hérédité par intermédiaire étranger, ou par *imprégnation*.

Hérédité directe. — C'est la transmission au descendant des particularités spéciales à son auteur immédiat. Cherchons à démêler au milieu de tous les caractères que présente un être organisé, quelles sont ces particularités.

Parmi les Végétaux prenons les plantes vasculaires : nous les voyons affecter une forme générale, toujours identique, caractérisée par la présence de racines qui s'enfoncent dans le sol et de tiges qui s'élèvent dans l'air. Tout d'abord on est tenté d'affirmer que ce sont des caractères héréditaires. Cependant un examen plus attentif jettera plus que du doute dans notre esprit. On reconnaît en effet bientôt que, dans la production des tiges et des racines, le végétal obéit à des forces extérieures que la plante mère n'a pu lui transmettre (voir p. 312).

Au contact de l'air, certaines parties de la racine revêtent bientôt les caractères de la tige et donnent naissance à des rameaux ; de même pour la tige, qui, plongée en terre, produit des radicelles. Bien plus, si l'on plante un rameau d'osier par son extrémité libre, celle-ci donne des racines, et la sève parcourt les vaisseaux en sens inverse. Les spores adhérentes de la pomme de terre, cette bouture naturelle, ce fragment de la tige souterraine, dont les cellules sont chargées de matériaux de réserve, ces spores, dis-je, donnent naissance indifféremment à des racines ou à des tiges, suivant la position qu'on leur donne dans le sol. Il est bien évident que tous ces phénomènes sont régis par les circonstances du milieu et que l'hérédité y reste absolument étrangère.

Du reste, presque toutes les manifestations de la vie végétale sont le résultat de l'action des agents extérieurs. Telle est la production de la chlorophylle et son action réductrice sur l'acide carbonique. La plante mère transmet seulement à la plante fille une substance qui, sous l'influence de la lumière, produira la chlorophylle ; mais sans radiations chimiques, pas de chorophylle et pas de réduction, comme il arrive dans les champignons, l'ancêtre ne leur ayant pas transmis de substances chlorophyllogènes.

En somme il n'y a d'héréditaires, dans les végétaux, que les propriétés physico-chimiques du protoplasme et spécialement ses affinités qui lui font absorber, dans le milieu nutritif, tels éléments à l'exclusion de tous autres. De ce choix dépend la composition chimique des produits qu'il sécrète, membrane de cellulose, résine, corps gras, huiles essentielles, etc. C'est la nature du protoplasme qui distingue le sapin du chêne, le blé du chiendent, la carotte de la betterave, etc.

Passons au Règne animal : prenons d'abord l'être le plus simple, l'*Amibe*, qui procède de son auteur par bipartition. Comme lui, il est soumis à l'attraction de la terre; mais il ne viendra à personne l'idée de regarder cette pesanteur comme héréditaire. De même pour sa forme globulaire, qui n'est qu'une manifestation de la cohésion des corps plus ou moins fluides, lorsqu'ils sont introduits au milieu d'un autre fluide avec lequel ils ne peuvent se mélanger. C'est ce qui arrive à l'huile dans un mélange d'eau et d'alcool, à l'air battu dans de l'eau de savon, enfin aux masses cosmiques répandues dans l'espace.

L'examen microscopique nous permet de constater, dans ce globule gélatineux, une couche externe granuleuse, une couche interne plus transparente et enfin, au centre, un noyau plus réfractif et par conséquent plus dense. Ces caractères, que présentait l'Amibe mère, sont bien héréditaires, car ils sont spéciaux à tous les éléments histologiques des êtres organisés et ne se produisent plus spontanément dans les conditions météorologiques où nous nous trouvons.

Mais où l'hérédité est le mieux caractérisée, c'est dans le pouvoir que possède l'Amibe d'émettre des prolongements de sa substance soit pour progresser, soit pour attirer dans sa masse centrale des particules organiques qu'il digérera, et qui serviront à entretenir et accroître son

volume. Ces propriétés dépendent de la substance qu'il a reçue directement de son auteur.

Si maintenant nous passons aux animaux polyzoïques inférieurs, nous les voyons aussi présenter des caractères qui, en apparence héréditaires, ne sont en réalité que la manifestation de l'action d'agents extérieurs. Ainsi le Polype d'eau douce, composé de deux couches de cellules, l'ectoderme et l'endoderme, digère les substances alibiles introduites dans son sac stomacal. Cette propriété digestive est due à ce que les cellules de l'endoderme ont accumulé, dans leur protoplasme, toute la substance digestive, d'abord uniformément répandue dans toutes les cellules résultant de la segmentation de l'œuf. Or, cette migration ne peut être regardée comme un caractère héréditaire. En effet, si, comme l'a fait Réaumur et bien d'autres après lui, on retourne le Polype, l'animal, après quelque temps de maladie, reprend sa santé ordinaire et digère parfaitement avec son ancien ectoderme, dans lequel sont passés les principes digestifs. On est donc forcé d'admettre que cette migration est le résultat de l'action d'agents extérieurs; l'hérédité y reste étrangère.

Quand on observe les animaux supérieurs à l'état adulte, et même seulement lorsqu'ils ont atteint cette période de la vie où la forme est définitive, il est alors impossible de distinguer les caractères transmis directement par l'auteur, de ceux qui doivent être attribués à des causes occasionnelles plus ou moins constantes, siégeant soit dans l'organisme, soit en dehors. Pour arriver à cette distinction, il faut avoir recours à l'embryogénie, cette clef merveilleuse de toutes les sciences naturelles.

Elle n'est pas encore assez bien connue dans tous ses détails, pour qu'il soit facile d'interpréter tous les phénomènes qu'elle présente. Du reste, un pareil travail nous *entraînerait trop loin*; je me contenterai donc de parcourir

rapidement les phases du développement des animaux à segments disposés en série linéaire et spécialement des Vertébrés.

Le premier phénomène que nous observons dans l'œuf fécondé qui se trouve dans des conditions normales de nutrition, c'est la segmentation. Si un physicien suivait, au microscope, tous les détails de cette division de la cellule, il dirait simplement que, d'abord dans l'œuf, puis dans chacune des cellules qui en proviennent, sous l'influence de l'adjonction de nouvelles molécules, il se développe deux centres d'attraction au lieu d'un; que ces centres sont occupés par la partie la plus dense de la masse. Mais les naturalistes sont habitués, depuis des milliers d'années, à voir, dans les manifestations de la vie, quelque chose de surnaturel; aussi, bien qu'ils aient analysé ce phénomène dans ce qu'il a de plus intime, ils s'abstiennent de toute interprétation. Il s'agit bien là cependant d'un phénomène physique d'attraction, dont l'intensité dépend de la composition du protoplasme, puisque, plus il contient de matériaux nutritifs de réserve, plus les sphères de segmentation sont volumineuses. Il n'y a donc d'héréditaire que les modes suivant lesquels le phénomène se produit : segmentation égale, inégale ou partielle.

Les cellules suffisamment multipliées se groupent en trois couches qui constituent le blastoderme. Il est difficile de dire à quelle force elles obéissent en se disposant ainsi. Cependant, comme en même temps les principes digestifs se localisent dans l'endoderme, les éléments contractiles et conjonctifs dans le mésoderme et la substance nerveuse dans l'ectoderme, on peut dire que l'affinité joue un rôle important dans cette stratification. Mais pourquoi chacun des éléments occupe-t-il toujours la même place? Nous avons vu plus haut que l'expérimentation démontre que, chez le Polype d'eau douce, il fallait attribuer cette distri-

bution à une action des agents extérieurs ; nous pouvons en induire qu'il en est de même ici, et que c'est le voisinage des substances alibiles du jaune ou *vitellus* qui attirent, par affinité, les principes digestifs dans l'endoderme.

Après la formation du blastoderme ou gastrula primitive, vient la production successive des segments en série linéaire, sur laquelle nous nous sommes longuement étendus. Mais quelle en est la cause? Pourquoi la gastrula primitive ne s'allonge-t-elle pas simplement? Nous l'avons déjà dit, ce phénomène semble être encore sous l'influence de la gravitation; il paraît exister dans chaque gastrula élémentaire un centre attractif dont la puissance est limitée, et dont l'action devient de plus en plus faible, au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la forme ancestrale primitive, c'est-à-dire du Ver. Ce serait encore l'attraction qui déterminerait le nombre et le volume des segments, c'est-à-dire la taille. Ainsi s'expliquerait la croissance, pour ainsi dire indéfinie, du ver solitaire, dont les segments se détachent continuellement. Quoi qu'il en soit, la taille variant suivant les espèces, elle dépend de la nature du protoplasme des cellules élémentaires et doit être rangée parmi les phénomènes héréditaires.

Quant à la différenciation des éléments, à l'accumulation des substances nerveuses, musculaires et autres, sur certains d'entre eux, au groupement des cellules ainsi différenciées, et aux relations qui se maintiennent entre les éléments nerveux et tous les autres, nous avons vu qu'il fallait attribuer tout cela à l'affinité (voir p. 355). Ce qui est héréditaire, ce sont les qualités spéciales de chaque substance et la tendance à proliférer plus ou moins, que présentent les corps protoplasmiques qu'elles constituent.

La disposition de la série des segments qui se trouvent couchés à plat sur la sphère vitelline, entraîne, sous l'influence *de causes* physico-chimiques, la formation de cer-

tains organes et la conformation spéciale de certains autres.

Ainsi, il s'établit, entre l'embryon en voie de développement et la substance nutritive de la vésicule ombilicale sur laquelle il repose, des courants liquides, qui parcourent l'aire opaque, refoulant les cellules qu'ils rencontrent autour d'eux. Ces courants sont absolument indépendants des propriétés des éléments du blastoderme et produits uniquement par l'affinité chimique. En outre, comme ils sont l'origine du système circulatoire, on peut affirmer que le développement primitif de celui-ci échappe à l'influence héréditaire directe. Plus tard, cependant, il tombe sous la dépendance de l'organisme, par suite des dispositions que prennent, autour des courants, certaines cellules contractiles et conjonctives du mésoderme, et il suit passivement toutes les vicissitudes de l'organisation. Les éléments figurés du sang n'ont pas d'autre origine que les cellules du mésoderme, de sorte qu'ils ont un caractère héréditaire bien tranché.

D'autre part, les organes, autres que le tube digestif et ses annexes, ne peuvent se développer que de chaque côté d'un plan médian indiqué par la ligne primitive, eu égard à la présence, dans les autres directions, de la membrane d'enveloppe de l'œuf et de la sphère vitelline. Pour la même raison, ils seront uniformément aplatis, tant que durera la vésicule ombilicale, comme il arrive pour les extrémités des membres disposés en palettes, cette forme embryonnaire des mains et des pieds, par lesquels débute leur développement, et qui rappelle les nageoires des Squales. La tête et la queue échappent à cette compression mécanique, parce qu'elles se détachent les premières de la sphère vitelline. La jambe et l'avant-bras, la cuisse et le bras sont de moins en moins aplatis, parce qu'ils naissent après l'absorption plus ou moins complète de cette sphère.

D'autres causes physiques agissent encore, plus tard, pour déterminer la forme des organes. En voici quelques exemples.

Le canal cardiaque, fixé à ses deux extrémités, se contourne forcément en U, puis en 8 de chiffre, par suite de son allongement. C'est ainsi que se forment les cavités du cœur. Ce centre circulatoire, d'abord situé au niveau du bulbe rachidien, en reçoit directement des nerfs, qui s'allongent quand la pédiculisation de la tête, chez les vertébrés terrestres, l'a refoulé dans la poitrine. Cette descente explique également la disposition récurrente du nerf laryngé inférieur. Du reste, la longueur des nerfs en général et de ceux des membres en particulier, n'a pas d'autre origine.

Les brisures de la colonne vertébrale sont dues, comme nous l'avons vu, aux contractions des muscles de chaque segment ; si bien que le sacrum contient autant de vertèbres que la ceinture pelvienne du membre postérieur a pu en immobiliser.

Les circonvolutions cérébrales se forment et se multiplient, parce que la couche corticale des hémisphères a une étendue beaucoup plus considérable que la masse de substance blanche sous-jacente. Malgré leur fixité relative, elles n'ont donc pas le caractère d'organes. C'est leur pression qui donne la forme à la calotte crânienne et qui dessine les impressions digitales de la base.

La plupart des accidents qui se rencontrent sur les surfaces osseuses n'ont pour origine que des causes mécaniques étrangères à l'hérédité, comme toutes les formes que je viens d'énumérer. Telles sont les gouttières artérielles et tendineuses, et les attaches musculaires, d'autant plus saillantes que les muscles sont plus vigoureux.

L'exemple des Pleuronectes fait encore mieux comprendre la différence qui existe entre les formes héréditaires dues *au développement* naturel des organes, et celles qui

résultent de causes mécaniques, surtout s'il s'agit de forces agissant en dehors de l'organisme.

Le déplacement de l'œil qui arrive lorsque la Sole et le Turbot ont acquis leur forme définitive n'est nullement héréditaire, car, bien qu'il se produise régulièrement depuis des milliers de siècles, les yeux de ces Pleuronectes se développent toujours d'une manière normale durant la période embryonnaire.

Je dois rappeler également l'exemple du Bernard-l'Hermite, cité plus haut. Lorsqu'il a quitté la forme larvaire, il pénètre dans la dépouille calcaire d'un Buccin et s'y établit définitivement, changeant seulement de coquille au fur et à mesure de son accroissement. Sous l'influence de cette demeure spiroïde, les pattes se développent inégalement, l'épiderme de l'abdomen ne s'encroûte pas de calcaire, et la partie postérieure du corps prend une forme en hélice, comme celle du mollusque que ce Pagure remplace. Malgré les générations sans nombre qui se sont succédé depuis que ce crustacé a choisi cet habitat, les déformations que nous venons de signaler ne sont pas devenues héréditaires : l'animal naît toujours avec la forme régulièrement symétrique des autres Crustacés macroures. C'est que la disposition régulièrement bilatérale des organes est produite par cette autre cause mécanique que nous avons exposée tout à l'heure.

Je ne pense pas qu'on puisse attribuer à l'hérédité *homochrone* de Darwin, d'ailleurs fort contestable à d'autres points de vue, ces caractères si tardivement acquis. Autant vaudrait alors classer, dans cette catégorie, les déformations que produisent certains métiers et qui peuvent se montrer durant de nombreuses générations, si les fils exercent la même profession que leurs pères. En substituant une action rapide à l'action lente des causes extérieures, on arriverait à ranger dans l'hérédité homochrone

la disparition du prépuce chez les Israélites quelques jours après la naissance.

Nous venons de voir combien il faut être circonspect pour qualifier d'héréditaires les caractères morphologiques ; jetons maintenant un coup d'œil sur les caractères physiologiques. Ici, l'hérédité n'est plus douteuse, puisqu'ils dépendent uniquement des propriétés physico-chimiques des éléments différenciés.

Ainsi les Herbivores reçoivent de leurs parents le goût pour leur alimentation spéciale, en même temps que la composition de leurs cellules digestives. De même pour la contraction musculaire, qui est plus ou moins rapide, plus ou moins brusque, plus ou moins susceptible d'une durée prolongée, suivant les caractères de la fibre contractile dont l'élément originaire se trouve inclus dans la cellule œuf, et dont l'aspect et sans doute la composition varient pour ainsi dire, avec chaque espèce.

Les cellules conjonctives, qui se différencient à la manière des végétaux, c'est-à-dire par la forme et la nature de leur membrane d'enveloppe et la composition des matériaux de réserve qu'elles accumulent dans leur intérieur, donnent des produits variables.suivant les espèces, les genres, les familles, les ordres et les classes : la graisse en est un exemple frappant. Ces divers caractères sont parfaitement héréditaires. Enfin les éléments nerveux, dont les propriétés sont à peu près les mêmes dans tout le règne animal, ne varient guère que par leur pouvoir prolifique, d'où dépend le plus ou moins d'élévation d'une espèce dans la série animale ; ce pouvoir prolifique est bien réellement héréditaire.

Mais, si les propriétés des éléments histologiques et leurs caractères anatomiques se transmettent de génération en génération, les résultats que produit la mise en *action des systèmes* qu'ils forment, ne peuvent être con-

sidérés comme un héritage des ancêtres. On ne peut dire que telle ou telle digestion bonne ou mauvaise, qui s'est produite hier ou aujourd'hui, est héréditaire, pas plus qu'une violence musculaire donnée. Cependant on n'a pas hésité à regarder comme transmise, lors de la conception, une idée qui apparaît successivement chez le père, puis chez le fils. Nous nous sommes suffisamment expliqués sur ce sujet à propos de l'instinct pour ne pas y revenir.

Par tout ce qui précède il me paraît établi qu'il n'y a de réellement héréditaire que les caractères anatomiques des éléments constitutifs et leurs diverses propriétés physico-chimiques. Ces caractères et ces propriétés se transmettent de génération en génération par les cellules reproductrices, qui en contiennent tous les principes. Quant à la forme, elle est le plus souvent le résultat de l'action des agents extérieurs.

Il ne faut donc pas voir dans l'hérédité une de ces forces mystérieuses dont l'ignorance et les préjugés se sont plu à peupler les organismes vivants. Les phénomènes qui méritent réellement cette dénomination sont le résultat de l'activité de la matière qui constitue le protoplasme ; tous les autres sont sous la dépendance des circonstances de milieu.

Atavisme. — Voyons maintenant de qui provient l'héritage. Cette question, malgré son apparence paradoxale, mérite d'être examinée attentivement. Nous avons vu que toute cellule reproductrice, complète ou sexuée, apparaissait avant la différenciation des éléments cellulaires de l'embryon, souvent pendant la segmentation de l'œuf et quelquefois même avant. Elles vivent donc comme enclaves et comme parasites de l'individu né de cet œuf, et cela pendant un temps quelquefois très long. Or, l'œuf lui-même, ou ses éléments constituants, avait vécu également en parasite après être né d'un germe non encore

différencié, lequel avait la même origine. En remontant ainsi de génération en génération, on arrive à la Monère primitive, dont les cellules reproductrices actuelles sont les descendants directs produits par une suite non interrompue de fissiparités.

Mais comment cette spore ou cet œuf peuvent-ils hériter des caractères des êtres dont ils n'ont été que les parasites, alors qu'ils sont, pour ainsi dire, plus vieux qu'eux ? Il faut nécessairement que, pendant leur séjour au milieu des éléments prétendus paternels ou maternels, séjour qui peut durer des jours, des mois et même des années, ils subissent leur influence et y puisent les principes qui, lors de leur développement, reproduisent les caractères ancestraux. Cette imprégnation est certaine ; elle a lieu par l'entremise du milieu nutritif sanguin dans lequel baignent les cellules mâles et femelles, comme tous les autres éléments histologiques.

Ainsi chaque génération de ces cellules peut subir, durant la vie des individus qui en sont les porteurs, des modifications qui sont le retentissement des circonstances de milieu dans lesquelles ceux-ci vivent, et qui, si ces éléments reproducteurs arrivent à donner naissance à des individus nouveaux, se traduisent par des variations qu'ils transmettent plus ou moins accentuées ou atténuées aux ovules ou spermatozoïdes dont ils entretiennent la vie.

Les individus auxquels nous donnons le nom de parents, ne sont donc en réalité que des nourriciers, qui, par l'alimentation qu'ils donnent aux descendants de la Monère primitive, en modifient les éléments protoplasmiques. C'est ainsi que se sont opérées par variation toutes les transformations dans les séries zoologiques, depuis l'individu polyzoïque le plus inférieur jusqu'à l'espèce la plus élevée.

On comprend, dans ces conditions, que telle ou telle variation *acquise puisse* être masquée par une autre, pen-

dant une ou plusieurs générations, pour reparaître ensuite. Mais cette suspension dans la manifestation d'un caractère inclus, en puissance, a des limites relativement étroites, et, s'il reparaît au bout de milliers d'années, et surtout lorsque la forme spécifique a changé, on est autorisé à rejeter l'hérédité ancestrale, et à admettre purement et simplement une nouvelle variation.

Malheureusement, les transformistes ont attribué à l'atavisme, c'est le nom donné à cette réapparition de variations masquées, une portée beaucoup plus considérable, et ont fini par en faire une force mystique, agissant par caprice et faisant inopinément reparaître des caractères d'ancêtres excessivement éloignés et même inconnus. On va en juger par l'exposé qui va suivre d'un certain nombre de cas prétendus d'atavisme, qu'on a introduits dans la science.

Si j'en crois mon impression, Darwin aurait puisé cette idée dans l'observation des séries de générations qui succèdent à une transformation par choix de reproducteurs. Tout le monde sait, et l'illustre naturaliste y a insisté longuement, que les nombreuses variétés de Pigeons domestiques, de toute couleur, de toute forme et de toutes mœurs, dérivent, par variations, de la *Columbia livia*, le Biset de nos vieux colombiers féodaux. Or, on voit reparaître, de temps à autre, dans ces nombreuses variétés, des caractères propres à l'ancêtre commun, et spécialement le bleu ardoisé du plumage, surtout après un croisement.

Voilà l'atavisme type. Faut-il, pour expliquer ce fait, avoir recours à un principe, à une force, à une attraction, enfin à tout cet attirail de conjectures familières à la philosophie? Certainement non. La seule hypothèse réellement scientifique que l'on puisse faire, c'est que, depuis l'ancêtre commun, il reste, dans les cellules reproductrices de chaque génération, une certaine quantité de la substance matérielle qui donne naissance au pigment ardoisé,

mais qu'il faut, pour que ce produit très dilué se manifeste, certaines conditions particulières telles que le croisement, c'est-à-dire l'apport d'une nouvelle dose de la substance pigmentogène.

De ce fait incontestable et incontesté, produit à la suite d'une transformation par variations reproduites intentionnellement, remontant à peine à quelques siècles, Darwin a cru pouvoir conclure que « si les espèces actuelles ont eu des souches communes, des ancêtres communs, on doit en voir reparaître chez les individus actuels, par retour ancestral, une trace quelconque, un souvenir plus ou moins marqué ». C'était hardi et même téméraire, car les espèces les plus récentes ont une durée de plus de cent mille ans.

Je n'examinerai pas s'il était nécessaire au transformisme de tirer une pareille conséquence du retour d'un des caractères de la *Columbia livia ;* je ferai seulement remarquer que, comme il l'avoue lui-même, Darwin a accumulé toutes les preuves possibles, fortes ou faibles, pour étayer ses convictions ; j'ajouterai qu'aujourd'hui que le transformisme a pris dans la science le rang qui lui était dû, il serait sans doute le premier à faire un triage et à rejeter les arguments les plus hasardés. Parmi ces preuves douteuses, je suis convaincu qu'il éliminerait tout d'abord l'exemple qu'il a pourtant développé, avec tant de complaisance, dans ses études sur les races de Cheval et d'Ane. Voici ce dont il s'agit.

Le Zèbre a des raies sur le corps et les jambes, le Couagga sur le corps seulement; or, l'Ane présente souvent des raies transversales sur les jambes, et les poulains de nos pays quelquefois deux ou trois raies parallèles sur les épaules ; on en a conclu que l'ancêtre commun des Équidés était zébré. D'autre part, l'Ane et l'Hémione ont, sur le milieu du dos, une bande longitudinale noirâtre, croisée, *chez le premier,* sur les épaules par une ligne transversale

de même couleur. Comme, chez les poulains d'Europe, on trouve souvent la raie dorsale, qui est même, paraît-il, constante chez les Chevaux kiatiwar du nord-ouest de l'Inde, on en infère qu'il s'agit là d'un caractère atavique. Même conclusion pour la teinte isabelle, constante chez l'Hémione sur les parties du corps les plus exposées à la lumière, et que l'on retrouve quelquefois répandue sur tout le pelage du Cheval.

Je n'insisterai pas sur l'espèce de contradiction qu'il y a à attribuer à la fois à l'ancêtre des Équidés les caractères du Zèbre, de l'Ane et de l'Hémione, je dirai seulement que ces caractères prétendus ancestraux peuvent, à plus juste titre, être regardés comme de simples variations, d'autant plus qu'il s'agit d'animaux domestiques chez lesquels on les rencontre si souvent, qu'elles sont devenues l'origine d'une industrie spéciale, et que l'ancêtre commun, si tant est qu'il ait présenté ces caractères, les avait acquis lui-même par variations spontanées.

Autour de ces exemples d'atavisme réel ou supposé, on a groupé une foule d'autres faits qui leur sont plus ou moins comparables. Je laisserai de côté ceux qui ont trait au pigment, et pour lesquels je devrais répéter ce que je viens de dire.

On a prétendu que c'était sous l'influence de l'atavisme que les Pommiers, Poiriers et autres plantes cultivées et améliorées reproduisaient toujours par graine l'espèce sauvage d'où elles sont issues. Ici l'erreur est évidente ; ces espèces, modifiées par l'art, ne se sont jamais reproduites que par spores adhérentes, c'est-à-dire par continuité de tissu, ou par greffes, à l'aide desquelles on les multiplie. Ils représentent donc toujours les mêmes individus indéfiniment fractionnés; leurs caractères, produits artificiellement, ne sont pas devenus héréditaires, et voilà tout.

Il faut, au contraire, regarder comme un fait d'hérédité

en retour la transmission, par un taureau, du caractère de bonne laitière que possédait sa mère. Il est masqué chez lui par la présence des testicules. En effet, chez un sexe privé de ses organes spéciaux, on voit reparaître des particularités qui sont l'apanage ordinaire de l'autre sexe. Mais on tomberait dans une étrange erreur si l'on attribuait à la force atavique la réapparition successive des sexes. Nous avons signalé précédemment que l'œuf d'hiver du Puceron et du Phylloxera donne naissance, au printemps, à une femelle parthénogénésique, et que de nombreuses générations se succèdent ainsi jusque vers l'automne, où une génération sexuée succède à une dernière génération agame. Or, la réapparition des sexes est certainement due alors à des circonstances de milieu et spécialement à la qualité et à la quantité des aliments ingérés. En effet, M. Boiteau, il y a quelques années, a annoncé à l'Académie des sciences qu'il avait pu expérimentalement perpétuer la génération agame chez des phylloxeras ; il a obtenu, sans interruption, quinze générations, en 1884, et quatre, en 1885, en supprimant l'influence automnale.

Nous devons regarder également, comme de simples variations, les mamelles surnuméraires qui, chez l'Homme, s'observent sur des points de la surface cutanée, où jamais on ne les rencontre chez les autres mammifères (1).

Même remarque pour les muscles anormaux, signalés si souvent dans l'espèce humaine, et qui, suivant la remarque de M. de Quatrefages, s'ils étaient pris pour des caractères ataviques, « feraient figurer dans notre arbre généalogique, non seulement les Singes de tous les types, depuis l'Anthropoïde jusqu'à l'Atèle et au Ouistiti, mais encore les Carnassiers, les Ruminants, les Rongeurs et

(1) Voir notre communication sur l'*Origine de la polymastie* (*Bull. de la Société d'anthropologie de* Paris, 1887, p. 507).

même les Serpents ». (Séance de l'Académie des sciences du 7 juillet 1884.)

Les variations se manifestent, comme Darwin l'a démontré, sous l'influence du milieu ambiant ; or, si des milieux différents agissent suivant un cycle régulier, on peut être tenté d'attribuer à la force atavique le retour périodique des mêmes formes, si la véritable cause en est méconnue. L'exemple de la Rouille du blé, que nous avons rapporté précédemment (voir p. 289), en est une preuve manifeste; il est tiré des recherches de M. Bary, de Strasbourg. Si l'influence du milieu avait été méconnue par cet illustre botaniste, c'eût été pour lui un exemple splendide d'atavisme. Mais il ne s'y est pas laissé prendre, et, sur d'autres champignons évoluant d'une manière analogue, il est parvenu expérimentalement à supprimer l'une ou l'autre des formes, en supprimant un quelconque des habitats.

J'arrive maintenant aux organes rudimentaires, qui, accidentellement, reprennent la forme qu'ils avaient d'une manière continue dans les espèces ancestrales, retour qu'on a cru aussi devoir attribuer à la force atavique, à l'attraction vers le type de l'espèce.

Ces organes, souvent méconnaissables, nous fournissent des preuves irréfutables de la doctrine transformiste, quand on remonte à leur origine, comme nous l'avons fait pour le rudiment de fémur de l'*Haliterium* (voir p. 422), Ce que nous avons dit de la glande pinéale nous dispense d'insister sur ce sujet. Quant au point de vue héréditaire, c'est leur présence même, et non leur retour fortuit au volume primitif, qui démontre l'origine reculée de l'espèce qui les porte.

Le squelette de l'homme ne présente, comme organe rudimentaire, que le coccyx, ce vestige de la queue, et la troisième arrière-molaire en voie de régression. Dans les parties molles, on peut citer le peaussier du cou, les

muscles moteurs du pavillon de l'oreille qui, chez certaines personnes, présentent un volume anormal, et enfin le système pileux de la surface du corps qui, relativement très développé chez le fœtus, s'atrophie au moment de la naissance.

On le voit se développer chez quelques individus au point de former un véritable pelage. — C'est de l'atavisme, dit-on. — Hé bien ! non : le seul caractère héréditaire est la *lanugo* fœtale qui nous reporte à la forme anthropoïde. Quant à cette espèce de revivification, plutôt que de l'attribuer à une force inconnue, mystique, il me paraît beaucoup plus logique de lui reconnaître pour cause un développement accidentel du système vasculaire de la peau et par conséquent la surabondance du milieu nutritif. Une comparaison me fera mieux comprendre. Je suppose que, pendant cinq années successives, un cultivateur sème du blé dans le même terrain : la première récolte est splendide ; les trois suivantes déclinent graduellement et deviennent de plus en plus maigres ; enfin, la cinquième année elle se montre avec son abondance première. Prétendrons-nous que c'est l'atavisme qui a ramené cette végétation luxuriante? Non ; nous conclurons, avec juste raison, que le fermier a dû renouveler la fumure du sol. Hé bien ! il en est de même pour le *pilosisme* (1).

L'homme est ainsi fait, il ne peut s'en tenir aux faits acquis ; son imagination l'entraîne toujours au delà de la vérité. C'est ainsi que, de la réapparition d'un doigt ancestral chez le cheval qui en possède le rudiment, on a conclu que la polydactylie chez l'homme lui était transmise par ses ancêtres poissons, peut-être même par un reptile marin des temps secondaires, tel que l'Ichtyosaure! Ce-

(1) Voir docteur Fauvelle, *Un cas de pilosisme chez une jeune Laotienne (Bulletins de la Société d'anthropologie*, 1886, p. 439).

pendant aucun organe, si rudimentaire qu'il soit, ne légitime une pareille conjecture.

L'apparition d'un ou plusieurs doigts congénitaux surnuméraires est un fait absolument nouveau, c'est une variation au même titre que l'augmentation accidentelle du nombre des côtes et des vertèbres, dont on trouvera de nombreux exemples dans le premier volume de la *Tératologie* d'Isidore Geoffroy Saint-Hilaire. On y verra aussi, soit sur le même individu, soit dans la même famille, la polydactylie coïncider avec l'ectrodactylie (1) qui, certes, n'a rien d'ancestral. Il faut, à mon avis, chercher la cause de ces diverses variations dans une modification de la qualité ou de la quantité des matériaux nutritifs, lors de la formation de l'embryon, d'où est résultée une multiplication anormale des segments ou de leurs appendices.

Ces variations dans le nombre des doigts, des côtes et des vertèbres sont, comme toutes les autres, héréditaires pendant un certain nombre de générations et pourraient se perpétuer par sélection artificielle, comme on l'a fait pour les poulets à cinq doigts.

Quoi qu'il en soit, l'explication que je donne de ces faits anormaux, me paraît bien plus vraisemblable que celle des partisans de la force atavique, et plus conforme à la doctrine transformiste, qui repose sur la variation des espèces.

On a aussi rangé, parmi les phénomènes ataviques, les difformités par arrêt de développement qui rappellent plus ou moins des formes animales connues. Le bec-de-lièvre est celle sur laquelle on a particulièrement insisté. Cette ressemblance, d'après laquelle on prétendrait nous faire descendre des Léporidés, n'est qu'un défaut d'adhérence de l'extrémité du bourgeon frontal avec la branche supérieure du premier arc branchial qui forme le maxillaire

(1) Ἐκτρόω, je fais avorter; δάκτυλος, doigt.

supérieur ; inutile d'insister. La difformité en question n'a donc rien d'atavique. On n'est pas plus autorisé à dire que la division profonde du palais, qui constitue un cloaque bucco-nasal, est un retour à la forme cyclostome.

La persistance de certaines sutures, telles que celles de deux parties qui constituent le frontal, ne sont pas non plus le fait d'une hérédité en retour ; c'est le résultat d'un trouble de nutrition. Il en est de même de l'utérus bicorne que l'on rencontre quelquefois chez la femme. Cette difformité, bien que se rencontrant chez les marsupiaux et certains rongeurs, n'a rien d'atavique, pas plus que le vagin double, qui ne s'observe à l'état normal dans aucune espèce animale. D'après les embryologistes, c'est le résultat d'un état morbide quelconque, survenu durant la période embryonnaire.

Il n'y a pas non plus réversion, mais simple arrêt de développement, dans la *microcéphalie*, bien qu'elle puisse rappeler la forme cérébrale de certains de nos collatéraux, singes ou anthropoïdes.

En somme, l'ontogénie de l'homme étant le résumé de la phylogénie, qui de transformation en transformation l'a amené à l'état actuel, il n'est pas étonnant que, si des cas pathologiques arrêtent sa croissance, il puisse présenter des formes d'apparence ancestrale. C'est le développement complet qui seul est héréditaire ; au contraire, l'arrêt de développement est le résultat d'un trouble, d'une maladie locale ou générale.

L'atavisme est donc un mode d'hérédité excessivement rare, qui ne se rencontre guère que dans les transformations produites artificiellement, et après une suite de générations relativement peu nombreuses. Mais tous les autres phénomènes qu'on a voulu réunir sous cette appellation ne sont que des variations de différentes natures ou *des arrêts de développement*, rappelant d'une manière plus

ou moins grossière certaines formes ancestrales. Par un zéle exagéré, on a voulu y voir des relations mystérieuses entre l'individu actuel et les ancêtres dont souvent il est séparé par des millions d'années ; par cette induction, on est sorti du domaine de la science pour tomber dans celui des conjectures.

Hérédité par imprégnation. — Les éleveurs savent depuis longtemps qu'une femelle de race pure, qui a été couverte par un mâle étranger et a été fécondée par ce coït, devient désormais impropre à reproduire son type dans toute sa pureté, quel que soit d'ailleurs le nouveau mâle qu'on lui impose. Ainsi, une jument qui, saillie par un âne, aura produit un mulet, donnera désormais, avec n'importe quel étalon, des poulains qui présenteront des traces plus ou moins accentuées du premier reproducteur. On observe le même phénomène chez le chien et même chez l'homme. Une négresse qui a eu un enfant d'un blanc, donne encore des mulâtres à la suite de relations avec un homme de sa couleur. Ces faits ont été niés par les uns et attribués par d'autres à une hérédité atavique d'origine inconnue. Nous allons chercher à en démontrer la réalité, en même temps que le mécanisme.

Pour que l'imprégnation puisse se produire, quatre conditions sont nécessaires et même indispensables. Il faut : 1° que le fœtus présente les caractères constitutionnels du père ; 2° que ces caractères existent dans son sang ; 3° qu'il y ait échange de liquide et par conséquent de substances dissoutes, entre la mère et le produit de la conception ; 4° enfin que le liquide nourricier de la mère ait une influence sur les ovules contenus dans son ovaire.

Le premier point est indiscutable : le spermatozoïde peut imposer à l'enfant les caractères du père, à l'exclusion plus ou moins complète de ceux de la mère ; inutile d'insister, les preuves surabondent ; c'est l'hérédité directe.

Je pense que personne ne niera non plus que le sang, bien qu'il puise ses éléments principaux au dehors, participe complètement à la constitution des éléments anatomiques qu'il baigne et avec lesquels il est en échange continuel de substance. Du reste, il contient des corps cellulaires qui en font, pour ainsi dire, un tissu fluide, et l'embryogénie nous montre que ces corps ont la même origine que les autres tissus.

Voyons maintenant la nature des échanges qui ont lieu entre le sang de la mère et celui du fœtus. On sait que les extrémités des villosités du placenta fœtal baignent dans les lacunes sanguines du placenta utérin. Or, ces villosités sont réduites, à ce niveau, à leur épithélium, et les capillaires qui s'y ramifient, à leur endothélium. La stagnation relative du sang dans les lacunes du tissu maternel et l'extrême ténuité des membranes des villosités et de leurs capillaires favorisent singulièrement l'osmose. On sait de plus que les phénomènes osmotiques se produisent dans les deux sens et que leur intensité dépend du plus ou moins de saturation de l'un ou l'autre des liquides, au point de vue des substances dissoutes. Le prétendu choix intentionnel, auquel on croyait encore il y a une soixantaine d'années, est donc une conjecture superstitieuse inspirée par l'ignorance. Le sang qui arrive au placenta par les artères ombilicales, branches des hypogastriques, perdra, parmi les substances dissoutes, celles qui seront sous une faible tension dans le sang maternel, et prendra, par contre, celles du liquide des lacunes, dont il manquera dans de certaines proportions ; l'échange est donc forcé. Du reste, on sait que c'est alors que le sang du fœtus abandonne son acide carbonique et la plus grande partie de son urée, puisque, au moment de la naissance, l'excrétion urinaire n'a introduit dans l'eau de l'amnios que 40 ou 50 centigrammes de ce corps pour 100 grammes de liquide.

La réalité de ces échanges est démontrée d'une manière évidente par les maladies virulentes. Par exemple, si la mère, saine au moment de la conception, contracte dans le cours de sa grossesse, une affection syphilitique, elle la transmet au fœtus, qui l'apporte en naissant. En outre, les auteurs spéciaux ont cité de nombreux exemples de syphilis constitutionnelle transmise à la mère par le fœtus, qui la tenait de son père, alors que celui-ci, au moment de la conception et depuis, n'avait présenté aucun symptôme primitif ou secondaire susceptible de transmettre le virus directement à la mère.

Cette espèce de contagion n'est pas seulement limitée à des états pathologiques bien définis. C'est ainsi que l'on voit certaine femme robuste, issue d'une famille exempte de tout vice constitutionnel, mais mariée à un homme d'une constitution tarée, présenter des signes progressifs d'épuisement après deux ou trois grossesses, et succomber à une maladie diathésique que rien ne permettait de prévoir. Dans des conditions opposées, il n'est pas rare non plus de voir une femme frêle, née de parents contaminés d'une manière quelconque, supporter parfaitement une grossesse et même plusieurs, et n'en devenir que plus robuste ; les enfants d'un homme vigoureux l'ont, pour ainsi dire, régénérée. Ce sont des faits qu'une pratique médicale suffisamment prolongée permet à tout le monde d'observer.

L'influence du fœtus sur la mère une fois reconnue, la quatrième partie du problème se trouve résolue par l'exposé que nous avons donné plus haut, du mode de transmission des variations acquises par les parents, aux cellules reproductrices qui vivent au milieu de leur organisme à l'état d'enclaves. C'est de l'hérédité directe, et pas autre chose. On comprend donc qu'une femme blanche, ayant eu un enfant d'un homme de couleur, puisse transmettre à ceux qu'elle aura d'un blanc les caractères de

son premier mari ou, plus exactement, de son premier enfant. L'action du fœtus est une simple influence de milieu. Si une variation peut en résulter, elle ne se manifestera pas sur la mère, mais sur ses descendants ultérieurs.

L'imprégnation s'observe aussi chez les Végétaux. Si l'on féconde une phanérogame par le pollen d'une espèce voisine, l'embryon, en se développant, imprègne la plante mère et l'on voit l'année suivante quelques individus nés par spores adhérentes, autrement dit de nouvelles branches, présenter certains caractères de l'individu qui a fourni le pollen. Il en est de même si l'on greffe, par exemple, deux espèces voisines à feuillage de couleurs différentes, il arrive que les caractères de la greffe se montrent sur les jeunes pousses de l'individu sur lequel elle est implantée. Encore une nouvelle similitude entre les deux règnes.

CONCLUSION.

Résumé du mécanisme des transformations des Animaux et de leurs rapports avec les Végétaux.

Après l'exposé complet que nous avons donné de l'évolution des végétaux et des animaux, tout ce que nous venons de dire de l'hérédité et de ses différentes formes était indispensable pour faire bien comprendre leurs transformations successives et le mécanisme par lequel elles se produisent. Nous allons résumer ce mécanisme en quelques lignes ; ce sera la conclusion naturelle de cette partie de notre travail.

Prenons un de ces êtres à l'état adulte, un animal, par exemple ; il se trouve dans des conditions physico-chimiques d'organisation qu'il partage avec les cellules reproductrices *contenues* dans son intérieur et qui sont issues

du même œuf que lui. Si le milieu qui l'entoure est absolument le même que celui dans lequel vivait son ancêtre immédiat, la nature des éléments cellulaires dont il est composé n'est nullement modifiée, pas plus que celle des cellules reproductrices, et les êtres auxquels elles donneront naissance seront identiquement semblables à lui.

Si, au contraire, l'animal en question est placé dans des conditions de milieu autres que celles qui entouraient ses ascendants, le protoplasme de ses éléments nerveux, musculaires, connectifs et autres s'en trouvera influencé, de même que celui de ses cellules reproductrices. Pour lui, il n'en résultera que des modifications fonctionnelles bonnes ou mauvaises, mais les petits auxquels ils donnera naissance, ne lui ressembleront plus aussi exactement que lui-même ressemblait à son père. En admettant que le milieu continue à agir progressivement dans le même sens, au bout d'une centaine de générations, la différence entre la souche première et ses derniers descendants sera plus accentuée, et il y aura formation, dans l'espèce, d'une race particulière ; après des milliers d'années, l'écart sera tel, que la nouvelle forme pourra être qualifiée du nom d'espèce.

Mais, à un moment donné, les modifications du milieu ambiant peuvent rétrograder et ramener graduellement l'animal à un état antérieur; alors une forme ancienne reparaîtra; ce ne sera pas un retour atavique, mais un résultat de variations nouvelles.

Enfin, il peut arriver que les circonstances environnantes deviennent incompatibles avec le fonctionnement régulier des organes et avec le développement de la descendance; dans ces conditions, l'extinction de l'espèce est inéluctable.

L'affinité entre les protoplasmes de même nature, sur laquelle nous avons insisté avec intention, entraîne forcé-

nent des unions entre les générations ayant subi les mêmes modifications physico-chimiques, ce qui accélère d'autant les transformations progressistes ou rétrogrades, générales ou partielles. C'est sur ce phénomène que Darwin a surtout insisté, et il lui a donné le nom de *sélection naturelle*.

Comme le mot sélection l'indique, l'illustre continuateur de Lamarck n'a pas été amené à cette conception par des considérations d'ordre physico-chimique, mais par l'exemple des éleveurs qui, depuis longtemps, dans un but utilitaire, pratiquaient la *sélection artificielle* sur les plantes et les animaux domestiques. Nous ne discuterons pas la valeur relative de ces deux expressions; seulement nous ferons observer que la seconde implique un choix raisonné des reproducteurs, tandis que la première ne peut qu'indiquer l'ensemble des circonstances qui amènent leur rapprochement, et parmi lesquelles, suivant nous, l'affinité protoplasmique occupe le premier rang. Quoi qu'il en soit, il est à remarquer qu'ici, comme partout et toujours, la science pratique a été le point de départ de la science pure.

En résumé, les phénomènes physico-chimiques sont les seules causes de l'apparition des êtres organisés et de leurs transformations ultérieures. Nous allons voir que leur avenir en dépend également.

Avant d'aborder cette dernière question, il me paraît utile de jeter un coup d'œil récapitulatif sur les points de contact des deux règnes végétal et animal. Ce parallèle a déjà été fait bien des fois par les naturalistes, souvent avec des idées préconçues, mais plus souvent encore sans une notion bien nette des deux ordres de faits mis en présence. Aujourd'hui que les observations et les expérimentations nous en ont donné une idée plus exacte, les différences *et similitudes*, comme nous l'avons vu, ressor-

tent d'elles-mêmes; nous allons rappeler les plus importantes.

Sans revenir sur la question d'origine et sur le mode de nutrition qui dépend uniquement de l'absence ou de la présence de la chlorophylle et n'est, par conséquent, pas une question de règne, nous compléterons d'abord ce que nous avons dit sur les caractères distinctifs des corps protoplasmiques qui constituent l'animal et le végétal polycellulaires.

Chez le premier, quelles que soient la nature, la forme, la consistance des enveloppes dont les cellules s'entourent, et la composition chimique des matériaux liquides et solides qu'elles sécrètent, le corps cellulaire est toujours semblable à lui-même sur le même individu. Le protoplasme qui entoure le noyau est toujours excitable par les agents extérieurs, et manifeste sa sensibilité par des mouvements dont l'étendue varie, suivant qu'il est nu ou renfermé plus ou moins à l'étroit dans son enveloppe de cellulose, et cela, grâce aux substances nerveuses et contractiles qui ne lui font jamais défaut.

Dans l'animal, au contraire, les corps protoplasmiques, tout en présentant dans leur ensemble des caractères différents suivant l'espèce et le groupe d'espèces, ne restent pas identiques entre eux. L'affinité, en accumulant sur certains la substance nerveuse et sur d'autres la substance contractile, établit une solidarité qui n'existe pas chez les végétaux du même ordre. Les groupes nerveux sentent, se souviennent et veulent pour l'ensemble, et les groupes musculaires, qui sont sous leur dépendance absolue, mettent tout le système en mouvement. Voilà pourquoi, pendant si longtemps, on a cru que la sensibilité et le mouvement étaient l'apanage exclusif du Règne animal. Si ces propriétés de la cellule vivante y sont plus évidentes que dans le Règne végétal, c'est que les substances organiques, qui

en sont le siège, sont mises en commun et donnent des résultats beaucoup plus faciles à apprécier.

Plus on s'élève dans les séries d'animaux polyzoïques, plus la concentration s'accentue. On y constate des individus intelligents et des individus moteurs qui gouvernent toute la colonie. L'intelligence et la motilité y sont très manifestes, mais il ne s'ensuit pas qu'elles soient spéciales à l'Homme et aux Animaux. Supposons, par exemple, que la matière nerveuse et la substance musculaire des innombrables cellules vivantes d'un grand arbre soient accumulées sur certaines d'entre elles, indubitablement les effets qu'elles pourront produire, seront au moins aussi considérables que ceux que peut donner l'animal le plus puissant.

Dans le végétal, ces substances, qui caractérisent spécialement les êtres organisés, sont disséminées ; elles sont accumulées dans l'animal. Il n'y a pas d'autre différence fondamentale entre les deux règnes ; il n'y a rien dans l'un qui n'existe dans l'autre.

Nous avons vu, chez les polyzoïques comme chez les polyphytes, des individus nourriciers et des individus reproducteurs dont la forme et la consistance dépendent des mêmes causes. C'est le groupement des éléments cellulaires qui détermine la première, et la seconde résulte de la nature et de la disposition des enveloppes qu'ils se sécrètent.

Tous les corps protoplasmiques du végétal contribuent, en différentes proportions, à la constitution du squelette ; il en est de même chez l'animal ; les cellules exclusivement nerveuses et musculaires font seules exception. Il est vrai que la composition du squelette diffère dans les deux cas : la cellulose, additionnée ou non de lignine ou matière incrustante, est spéciale aux végétaux, la chitine et la kératine, aux animaux ; mais, comme ce sont des substances sécrétées, la différence de leur composition chimique,

comme celle de toutes les autres sécrétions, dépend de la nature des aliments et de la manière dont ils sont digérés. Il en est de même des matériaux de réserve qui, chez les premiers, sont formés spécialement par l'amidon ou ses dérivés, tandis que, chez les seconds, ce sont des corps gras diversement combinés. Du reste, les graisses se rencontrent aussi dans beaucoup de plantes et particulièrement dans leurs graines. Les incrustations calcaires ne se rencontrent guère que chez certains thallophytes marins ; mais les animaux de tous ordres peuvent en présenter, soit sur les éléments de leur enveloppe cutanée, soit sur certains groupes de cellules connectives situées à l'intérieur du corps ou des membres.

Au sujet de ces dernières cellules, le lecteur a dû remarquer que je suis resté dans le vague. En effet, on a très peu de données sur leur constitution, comme sur celle des cellules de l'épiderme, des épithéliums et de leurs dépendances, qui doivent en être rapprochées. Elles ont un noyau entouré de protoplasme, mais on n'a jamais vu celui-ci être le siège d'une sensibilité quelconque, traduite par des mouvements. Cependant, elles absorbent de l'oxygène et rendent de l'acide carbonique, dans de minimes proportions il est vrai ; mais il n'en est pas moins certain qu'elles vivent. Les observations et les expérimentations futures jetteront peut-être quelque lumière sur ce point obscur.

Les divers modes de reproduction se rencontrent sans différences sensibles chez tous les êtres organisés. Celle par spores adhérentes et celle par spores libres paraissaient spéciales aux végétaux ; mais nous les avons également observées chez les animaux ; seulement les noms sont changés. On nomme la première bourgeonnement chez les Polypes et autres polyzoïques du même groupe, et la seconde prend le nom de parthénogenèse chez les Crustacés et les Insectes où on l'a observée.

La reproduction sexuée présente une similitude encore plus complète; nous y avons suffisamment insisté pour ne plus y revenir; nous ferons seulement remarquer que, chez les animaux, l'élément mâle est toujours mobile par lui-même à l'aide d'un flagellum. L'identité se poursuit jusque dans les phénomènes préparatoires de la fécondation.

Dans toutes les plantes, sauf celles chez lesquelles la fécondation a lieu par la conjugaison des cellules sexuées, la spore mâle, ou cellule mère, se subdivise, dans l'intérieur de sa membrane de cellulose, en un nombre plus ou moins considérable de cellules filles, qui deviennent soit des anthérozoïdes, soit des pollinides ou grains de pollen; une seule suffit pour la fécondation. Ces faits sont connus depuis longtemps; mais l'origine des spermatozoïdes était restée obscure. Ce n'est que depuis les importants travaux de M. Mathias Duval (1), confirmés par les recherches de M. van Beneden, qu'on sait qu'ils se forment absolument de la même manière que les anthérozoïdes, et qu'ils sortent, en nombre plus ou moins considérable, des cellules mères qui tapissent les tubes séminifères de tous les animaux.

Les spores femelles de la plupart des végétaux polycellulaires ou polyphytes subissent, en attendant la fécondation, un certain nombre de divisions, sans que la cellule initiale perde son caractère sexué; les cellules secondaires, en général très petites, ne remplissent aucun rôle important. De même, l'ovule des animaux produit deux petites cellules, dites *globules polaires*, dont la signification a si fort intrigué les embryogénistes; ce qui certainement n'aurait pas eu lieu, s'ils avaient eu présent à l'esprit ce qui se passe dans les végétaux. Il n'est pas jusqu'au cône d'attraction qui se manifeste sur la cellule femelle à l'ap-

(1) *Études sur la Spermatogonèse* (publiée in *Revue des sciences naturelles* de Montpellier : sur les Mollusques gastéropodes, 1878; *sur la Paludine vivipare*, 1879; sur les Batraciens, 1880).

proche du spermatozoïde, qui ne soit un phénomène commun chez les végétaux. Dans plusieurs Phanérogames, la cellule femelle envoie un prolongement souvent considérable au devant du boyau pollinique. Cette particularité, récemment signalée, doit se rencontrer certainement sur la plupart des plantes à fleurs; il s'agit seulement de pouvoir l'observer. D'ailleurs, ce n'est pas autre chose qu'une manifestation tangible de l'affinité qui tend à rapprocher les deux éléments sexués et en amène la fusion.

La disposition en série linéaire des segments du deuxième groupe d'animaux polyzoïques ne s'observe pas dans le règne végétal. Le seul phénomène analogue qu'on y rencontre est le développement de la spore adhérente terminale des polyphytes, qui prolonge l'axe de la plante et celui de ses branches et rameaux. Du reste, la production successive de segments n'a pas lieu par spores adhérentes, mais par prolifération de l'ensemble des cellules terminales de la gastrula primitive. Bien que cette segmentation soit rarement un mode de reproduction, elle indique néanmoins une tendance à la séparation. Il est donc permis d'induire que, la gastrula étant arrivée à une certaine longueur, les corps protoplasmiques qui la composent ne peuvent plus obéir à l'attraction du centre primitif, et qu'il s'en manifeste un nouveau, autour duquel elles vont désormais graviter. Ce doit être, comme nous l'avons dit, un phénomène physique, analogue à celui qui amène la bipartition des cellules.

Nous avons vu également que c'est encore à l'attraction qu'il faut attribuer la limite de la taille chez tous les animaux polyzoïques ; sans cela, la multiplication des segments serait indéfinie. Au contraire, elle s'arrête à un moment donné, et, chez les vertébrés, les derniers sont les plus petits. Cette limite de la taille s'observe également chez les végétaux, soit polycellulaires, soit polyphytes.

Dans les arbres, les individus surajoutés par spores adhérentes deviennent de plus en plus petits, au fur et à mesure que l'élévation augmente. La gravitation joue donc un rôle aussi important chez les êtres organisés que dans le monde inorganique.

Nous arrivons toujours à la même conclusion : la Physico-chimie règle tout dans l'Univers.

QUATRIÈME SECTION. — AVENIR DES ÊTRES ORGANISÉS.

Nous avons vu, dans le courant de ce chapitre, que le changement de milieu et les modifications qui peuvent y survenir, ont été les facteurs les plus importants des transformations des êtres organisés.

Tant que les végétaux sont restés dans la mer, ils ont conservé la forme d'algue, sans variations bien accentuées. Le passage de l'eau salée à l'eau douce a amené déjà certains changements importants ; mais, sur les continents nouvellement émergés, les Algues se sont transformées les unes en Champignons ou en Lichens, les autres en Bactéries parasites, enfin certaines d'entre elles ont donné naissance aux Mousses. Le dessèchement faisant des progrès, les Mousses ont engendré les Cryptogames vasculaires qui, elles-mêmes, se sont transformées en Phanérogames, en quittant les terrains humides.

Pour les animaux, la marche n'a pas été aussi simple ; déjà, dans le sein des océans, leurs espèces se sont considérablement diversifiées. La Monère a d'abord donné différentes formes monocellulaires ; puis l'une d'elles, l'Amibe, a formé une gastrula ou polype. Cette forme animale, la plus simple de toutes, a évolué différemment suivant qu'elle était fixée ou libre, et a donné naissance à deux grands embranchements : d'une part, celui des *Polypes à gastrulas* juxtaposées, auxquels il faut joindre

les Bryozoaires et les Échinodermes ; de l'autre, celui des Vers, ou animaux en disposition linéaire, d'où sont issus les Mollusques, les Crustacés, les Insectes et les Poissons.

Le premier embranchement n'a pas quitté le milieu liquide, mais le second a envoyé sur les continents des colonies plus ou moins nombreuses. Celles des Vers, des Crustacés et même des Mollusques sont sans grande importance ; mais, par contre, les Insectes s'y sont transportés, pour ainsi dire, en totalité. Parmi les Poissons qui ont émigré sur le sol émergé, les uns n'y passent que la dernière partie de leur vie, ce sont les Batraciens ; les autres ont dit adieu sans retour à la vie aquatique, et sont devenus les Reptiles. Il est résulté pour les uns et les autres des modifications profondes dans la conformation des membres et des organes respiratoires ; mais les autres caractères sont restés sensiblement les mêmes.

Les Batraciens, toujours attachés dans leur jeunesse à l'élément liquide, n'ont pas donné naissance à d'autres groupes ; les uns ont disparu, les autres sont restés à peu près tels que lors de leur apparition. Il n'en a pas été de même des Reptiles ; le développement de la cloison interventriculaire les a rendus propres à résister aux abaissements de température, et leurs différentes formes ont produit soit les Oiseaux, soit les Mammifères. Un petit nombre, qui n'a pas subi de changement dans la conformation du cœur, a pu se maintenir grâce à la température élevée de leur habitat.

Étant donné ce passé des êtres organisés, est-il possible d'en tirer quelques indications relativement à leur avenir? D'abord, il n'y a plus de changement de milieu possible, sauf le retour au milieu liquide. Or, cette réintégration dans la mer est incompatible avec le mode de reproduction des animaux terrestres et spécialement des Vertébrés. Tous, au moment de leur naissance, ont franchi depuis

longtemps le stade poisson, leurs arcs branchiaux se sont soudés et les poumons ont atteint un développement à peu près complet. Aussi voyons-nous les Cétacés, malgré leur forme ichthyoïde et leur séjour continu dans les océans, conserver la respiration aérienne et rester vivipares, placentaires et mammifères. Pour qu'il y ait retour à la vie aquatique, il faudrait que chaque espèce puisse reprendre successivement les formes qu'elle a quittées. Or, comme elle ne l'a fait que sous l'influence du milieu ambiant, cette transformation à rebours ne pourrait avoir lieu que si la Terre traversait en sens inverse les périodes géologiques écoulées depuis la première émersion permanente des continents, ce qui est absolument impossible.

Il y aurait donc folie à supposer un retour vers le passé. Dans ces conditions, l'avenir des êtres organisés se trouve singulièrement restreint. Le Soleil, par sa concentration lente mais continue, laissera la zone glaciale circumpolaire progresser vers l'équateur, et, si ce qui est probable, il ne se produit aucune transformation susceptible de lutter contre le froid excessif, les végétaux et les animaux sont condamnés à disparaître, je ne dirai pas à bref délai, mais certainement à la fin de la période géologique que nous traversons, et l'on sait que c'est par millions d'années que l'on peut supputer la durée de ces périodes.

Est-ce à dire pour cela que les espèces animales et végétales ne subiront plus aucune modification ? Non, certes, elles lutteront pour la vie comme elles l'ont toujours fait. Les individus qui présenteront les caractères les plus propres à la résistance survivront seuls, sous l'influence de la sélection naturelle, ou surtout de l'affinité protoplasmique : ils s'uniront entre eux et reproduiront ces caractères avantageux, qui, d'abord accidentels, deviendront permanents dans l'espèce ainsi modifiée. Mais ces transformations partielles sont désormais restreintes, et nous pouvons, dans

de certaines limites, les prévoir, puisque ce sont des conditions climatériques déjà connues contre lesquelles seules il faudra lutter. Ces conditions se résument dans l'abaissement de la température qui se traduit par la congélation de l'eau dans les régions polaires, et, sous toutes les autres latitudes, par la dessiccation du sol.

Cette sécheresse, qui envahit progressivement les continents, a été jusqu'ici peu remarquée par les naturalistes. C'est cependant le plus grand danger qui menace le monde organique. Ses débuts datent des temps quaternaires qui ont vu les dernières grandes condensations pluviales. Aujourd'hui, celles-ci, en dehors des régions montagneuses, deviennent de moins en moins importantes. Aussi tout pays de grandes plaines, s'il n'est arrosé abondamment par de puissants cours d'eau issus de chaînes de hautes montagnes plus ou moins éloignées, est condamné à se transformer en désert.

Si l'on jette un coup d'œil sur une mappemonde, on verra que les déserts égalent, s'ils ne dépassent, les surfaces couvertes de végétations. Dans l'hémisphère boréal, le plus considérable de tous est celui qui s'étend, presque sans interruption, depuis la rive sibérienne de l'océan Glacial jusqu'à l'extrémité de l'Arabie, et, outre la Sibérie, comprend le Turkestan, la Perse, avec le plateau de l'Iran et toute la péninsule arabique. Cette vaste zone, dans laquelle, au début de l'histoire, se sont agités tant de peuples et se sont succédé tant de civilisations aujourd'hui disparues, tend, presque partout, à devenir inhabitable : les lacs, si nombreux autrefois dans ces contrées, disparaissent avec une rapidité effrayante (1). Dans l'Amérique du Nord, une zone analogue s'étend depuis le pourtour de la baie d'Hudson jusqu'au golfe du Mexique, et comprend

(1) Voir M. Venukoff, in Revue de géographie, 1886.

les déserts du Dacotah, de la Nébraska, du Colorado, de l'Utah et du Texas. En Afrique, depuis la mer Rouge jusqu'à l'Atlantique, se développe l'immense désert dont la partie la plus occidentale porte le nom de Sahara.

Dans l'hémisphère sud, malgré l'exiguité relative des continents, les surfaces privées plus ou moins complètement de toutes condensations pluviales, sont encore très nombreuses ; tels sont : les Llanos et les Pampas de l'Amérique méridionale ; le désert de Calahari, dans l'Afrique australe, et toute l'Australie, sauf les régions du sud-est et du littoral.

Dans tous ces espaces désolés, les espèces animales et végétales ont presque entièrement disparu, et si quelques-unes ont pu résister, grâce à une accommodation produite par les circonstances du milieu elles-mêmes, leur aspect chétif et rabougri indique bien qu'elles n'en sont pas moins condamnées à disparaître dans un délai plus ou moins bref.

A cette cause de destruction qui poursuit les êtres organisés sous toutes les latitudes, sauf dans la zone équatoriale proprement dite, vient se joindre l'influence délétère de l'abaissement de température qui part des régions polaires. Plus on s'en rapproche, plus les espèces animales et végétales deviennent rares, aussi bien dans le milieu liquide que sur le sol émergé. Il est donc manifeste que les transformations auront des limites et que, malgré l'action calorifique de l'oxygène, l'intégrité du protoplasme des cellules vivantes ne pourra se maintenir ; elles sont condamnées à disparaître.

Après le froid et la sécheresse, le pire ennemi du monde organique, c'est l'Homme lui-même. Son action destructive est d'autant plus terrible qu'il est plus avancé dans son évolution. Rien ne résiste à l'homme dit civilisé ; à son approche, toutes les grandes espèces animales et végétales *disparaissent*.

De l'extrême orient et de l'extrême occident de l'ancien continent, où les races humaines supérieures pullulent, partent des légions innombrables qui portent partout le ravage et la mort. A leur contact, il n'est plus de transformation possible, la lutte pour la vie est une déroute complète; l'homme lui-même succombe et des premiers. Les Européens sont ceux dont l'influence est surtout pernicieuse.

Lorsqu'ils envahissent une contrée, si les indigènes offrent de la résistance, leur extermination commence, et finit tôt ou tard par être complète. S'ils ont affaire à une population pacifique, ils lui imposent leurs coutumes, leurs superstitions, leurs vices, et le résultat est toujours le même. Dans l'Amérique du Nord, les races du pays auront bientôt disparu; le même sort est réservé dans un avenir prochain à celles de l'hémisphère austral. Les populations de la région intertropicale pourront seules résister plus longtemps, parce que l'acclimatation des populations blanches y est très difficile; mais ce n'est qu'une affaire de temps; l'Afrique centrale est aujourd'hui entamée.

En résumé, on peut prévoir une époque relativement peu éloignée où la race blanche et les populations indo-chinoises resteront seules en présence sur la surface du globe. Alors ce sera entre elles un duel à mort.

Cette diffusion des peuples dits civilisés est la condamnation de toutes les espèces animales d'un certain volume; elles disparaîtront soit à cause de leur nocuité, soit parce que l'homme a intérêt à s'approprier leurs dépouilles, pour faire place aux espèces domestiques qu'il exploite à son profit. Le même sort est réservé au règne végétal. Partout où l'Européen pénètre il s'attaque d'abord aux forêts, ne réservant que les arbres d'une utilité directe; puis la culture achève la ruine des plantes dites sauvages.

L'Océan lui-même, ce berceau des êtres organisés, n'est

pas à l'abri de la destruction générale : sur tous les rivages, ses habitants sont l'objet d'une guerre acharnée, et, sans leur fécondité extraordinaire, bien des poissons auraient déjà disparu. C'est le sort qui est prochainement réservé aux Mammifères marins, aujourd'hui relégués dans les régions glaciales où l'homme les poursuit quand même. Tous les ans, il en fait des massacres qui laissent parmi eux des vides que leur reproduction limitée est impuissante à combler.

Dans ces conditions, il est impossible de prévoir, pour les êtres organisés, un avenir comparable à leur passé. Les transformations qu'ils peuvent encore subir, se réduisent désormais à celles qui leur permettent de lutter, avec plus ou moins de succès, contre le froid et la sécheresse, si toutefois l'Homme leur en laisse le temps. Comme ces transformations ont déjà eu lieu dans les régions circumpolaires, nous savons ce qu'elles valent, et on peut se demander si l'extension du froid n'aura pas simplement pour conséquence la concentration, autour de l'équateur, de toutes les espèces animales et végétales qui habitent actuellement les climats tempérés.

Quant à l'Homme lui-même, sa seule ressource est dans le développement de ses hémisphères cérébraux qui peuvent lui permettre de lutter, par son industrie, contre les difficultés de la vie. Certainement ils sont encore susceptibles de perfectionnement ; les cellules nerveuses peuvent encore se multiplier et se différencier davantage ; les progrès acquis dans ces derniers siècles et surtout dans celui qui va se terminer le démontrent surabondamment ; il luttera donc avec avantage tant que se manifesteront les conditions de chaleur, de lumière et d'humidité nécessaires à la synthèse de la chlorophylle et des substances organisables. Néanmoins, lorsque, après avoir été relégué dans la zone *équatoriale, il s'y* trouvera poursuivi par le froid et

la sécheresse, il lui faudra succomber, comme le re
êtres organisés, sous l'influence de ces nouvelles
tions physico-chimiques. Ce sera la victoire défini
la synthèse sur l'analyse. Mais, suivant toute prob
ment les millions d'années s'écouleront avant cette
maison finale.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Tel est l'état actuel de la science libre et indépendante. Elle se résume dans la connaissance des propriétés physico-chimiques des matériaux qui constituent l'Univers, et des résultats successifs que ces propriétés ont engendrés. Résumons-les brièvement.

L'Univers ne contient absolument que deux substances, la matière et l'éther. La seconde, mobile et passive, remplit tout l'espace laissé libre par la première. Celle-ci seule est active. Elle est constituée par des atomes, ou particules excessivement ténues, de diverses natures. Tous sont doués, à différents degrés, de propriétés parfaitement définies. Ils sont perméables à l'éther dont ils peuvent absorber et expulser des quantités variables. Ils sont sans cesse animés de vibrations dont le nombre varie en un temps donné, et dont l'étendue est en raison inverse de leur rapidité. Ils se meuvent dans toutes les directions avec une vitesse de 500 à 1 000 mètres et plus par seconde (1).

(1) J'ai omis de citer en son heure, comme preuve du mouvement dont sont animés les atomes, le phénomène connu sous le nom de *mouvement brownien*, du nom du médecin philosophe anglais Brown, qui l'a découvert. Lorsqu'un corps insoluble est réduit en particules excessivement ténues, visibles seulement à un très fort grossissement, et qu'on les examine suffisamment isolées les unes des autres, on les voit, dans le champ du microscope, s'agiter continuellement dans tous les sens, avec une rapidité extrême. Elles s'éloignent peu de leur point de départ, comme si elles étaient retenues par un fil invisible. Ce fil doit être l'attraction, car le mouvement n'est bien manifeste que lorsqu'elles baignent *dans un liquide* dépourvu de viscosité, où elles perdent de

De plus, ils s'attirent plus ou moins les uns les autres en raison inverse du carré de la distance qui les sépare, et en raison directe des masses déjà agglomérées. Enfin, ils tendent, avec une intensité variable, à se fusionner entre eux pour former des molécules qui sont douées, à des degrés différents, de la même activité. De la nature et du nombre d'atomes qui les composent, dépendent le volume et la solidité des molécules; celle-ci est, d'une manière générale, en raison inverse du nombre.

Tous ces mouvements intrinsèques ou relatifs des atomes et molécules agissent sur l'éther de manière à produire la lumière, la chaleur, le magnétisme, l'électricité et la nervosité. La première est le résultat des vibrations, la seconde, de l'attraction et de l'affinité, et les trois autres, de l'échange que les atomes et molécules font entre eux d'une partie de l'éther qui entre dans leur constitution.

Toutes les particules matérielles peuvent donner naissance à la lumière, à la chaleur et à l'électricité, mais le magnétisme et la nervosité ne s'observent que sur certaines d'entre elles. Par l'entremise de l'éther, que ces cinq ordres de phénomènes mettent en mouvement, l'activité de la matière se trouve continuellement modifiée en plus ou en moins. Ces modifications s'enchaînent et se succèdent, et la connaissance de cet enchaînement et de cette succession constitue la science de l'Univers.

Dans les Nébuleuses, les vibrations et le mouvement de translation des atomes paraissent seuls en jeu, l'attraction agit faiblement et l'affinité est nulle.

Dans ces amas de matière diffuse, les atomes, doués

leur poids le volume de ce liquide qu'elles déplacent. Ce phénomène, dont les physiciens se sont peu préoccupés et duquel ils n'ont pas donné d'explication, ne peut être que la résultante du mouvement des atomes ou molécules qui constituent ces petits ...... mouvement limité par la pesanteur.

d'une force attractive plus intense, deviennent le centre des condensations stellaires, et l'éther, expulsé par le rapprochement des éléments de la matière, donne lieu aux phénomènes calorifiques par lesquels il repousse et écarte ceux encore éloignés du centre; mais, ces derniers obéissant à leur tour à l'attraction, il finit par occuper seul l'espace compris entre les sphères de nouvelle formation.

Tout corps céleste, pour arriver à une concentration complète, est donc le siège de mouvements alternatifs d'expansion et de contraction plus ou moins réguliers, jusqu'à ce que l'attraction victorieuse en immobilise tous les mouvements.

Pendant ce temps, les atomes continuent à vibrer jusqu'à ce qu'ils se trouvent dans un contact plus ou moins intime. Mais avant d'y arriver, la lumière qu'ils nous envoient par l'entremise de l'éther, nous paraît, par suite de leur rapprochement, plus intense que celle de la Nébuleuse; puis, graduellement, elle s'affaiblit et finit par disparaître. A la période stellaire a succédé ce que nous appelons improprement l'état planétaire.

Dans la Nébuleuse, l'éloignement des atomes donne à leur mouvement de translation un libre parcours relativement considérable. Il n'en est plus de même dans les masses stellaires : sous l'influence du centre attractif, il est entravé et se transforme en un mouvement de rotation de l'ensemble des éléments autour de ce centre, et en un mouvement de progression de la sphère dans l'espace. Ce dernier est rectiligne, si le corps céleste est suffisamment volumineux pour ne subir aucune influence étrangère; mais il devient circulaire, si ce corps est dans le voisinage d'un autre plus gros qui l'attire vers lui ; de plus, il le suit partout où il se transporte. C'est ainsi que les satellites des planètes du système solaire sont animés de quatre mouvements *distincts* : ils pivotent sur eux-mêmes, tournent

autour de leur planète et, avec elle, autour du Soleil, et enfin suivent celui-ci dans la direction de la constellation d'Hercule. Tous ces déplacements se font avec une vitesse proportionnelle à celle des atomes et à leur nombre, puisqu'ils en sont la résultante. L'éther libre qui remplit l'espace, étant absolument passif, ne les entrave en aucune manière.

Lorsque les atomes d'un astre sont suffisamment rapprochés, l'affinité se manifeste et entre en lutte avec l'attraction. L'éther, chassé par la formation des molécules, écarte les éléments voisins et arrive même à détruire des combinaisons déjà produites, s'il est en assez grande quantité et si l'affinité qui leur a donné naissance est peu intense. L'électricité, qui se manifeste également alors, vient encore multiplier ces alternatives d'analyse et de synthèse jusqu'à ce que celle-ci l'emporte par suite de l'expulsion définitive de l'éther interposé. A ce moment, l'attraction reprend ses droits et immobilise tous les matériaux de l'astre.

La lutte entre l'attraction et l'affinité, entre l'analyse et la synthèse, peut encore se prolonger, si le corps céleste est situé dans le voisinage d'un autre astre encore à l'état stellaire ; c'est ce que nous constatons sur notre planète. Sans les flots d'éther que le Soleil nous envoie, sans les vibrations de ses atomes, transmises par cette matière impondérable, tous les éléments de la superficie de la Terre seraient depuis longtemps immobilisés, et les phénomènes physico-chimiques dont elle serait le siège, se réduiraient à ceux qui sont la conséquence de la condensation de son noyau central. On n'observerait plus que les mouvements du sol, les éruptions volcaniques et les grandes manifestations magnétiques et électriques que nous avons exposées longuement.

Grâce à la chaleur solaire, sauf dans les régions des

pôles, l'eau reste liquide et s'évapore en partie pour retomber en pluies dont nous avons énuméré les conséquences physiques et chimiques sur les continents émergés. Cette même chaleur, aidée des vibrations lumineuses, est la seule cause de l'apparition des êtres organisés et de la persistance de la vie dans les océans et sur les terres qui les limitent. Du jour où cette intervention de l'astre central cessera, tous les éléments matériels de la superficie, subissant uniquement l'influence de l'attraction, entreront dans un repos relatif, et la planète morte continuera à tourner sur elle-même et à circuler autour du Soleil, en le suivant dans sa progression dans l'espace, jusqu'à ce qu'une cause inconnue vienne détruire l'attraction et disséminer de nouveau les atomes dans l'espace.

Nous avons vu que la vie était une succession continue de synthèses et d'analyses. Les vibrations lumineuses, en présence de la chlorophylle, favorisent certaines affinités et synthétisent la matière organique qui sert à constituer d'abord le végétal et par lui l'animal. L'oxygène qui pénètre les êtres organisés, décompose une partie de cette matière, et l'éther que dégage cette analyse, développe, dans des éléments cellulaires spéciaux, la nervosité qui, par les réactions chimiques qu'elle sollicite, constitue l'activité vitale. Celle-ci, pour se continuer, a besoin de l'apport incessant des matériaux réparateurs fabriqués par la lumière et la chlorophylle qui, elle-même, est le résultat de l'action des vibrations solaires.

Pour la production de cet ensemble de phénomènes, un certain nombre d'espèces d'atomes matériels est indispensable, et c'est la nature de leurs affinités chimiques qui seule les rend propres à jouer ce rôle. Citons en particulier le carbone, dont la puissante atomicité permet la construction des molécules les plus variées, dont certaines peuvent atteindre un volume relativement énorme.

En même temps que cette affinité chimique préside à la formation des substances organisables et à leur groupement, l'attraction limite le volume des éléments organiques et produit leur bipartition qui, en dernière analyse, est le seul mode de multiplication des êtres vivants. C'est elle aussi qui détermine la taille des individus pluricellulaires et des groupes qu'ils peuvent former.

Une fois constitués par l'attraction et l'affinité influencée par les vibrations lumineuses, les végétaux et les animaux ont été sans cesse modifiés par les circonstances du milieu. Ces circonstances sont la plus ou moins grande quantité de lumière et de chaleur, la pénurie ou l'abondance de l'eau et des autres atomes ou molécules de matière minérale en présence, conditions qui, toutes, entraînent des changements dans la composition des substances organisables. Si ces changements dépassent certaines limites, elles ne se produisent plus; l'analyse détruit l'être organisé, et ses éléments reviennent à l'état minéral.

Le seul milieu biologique est l'eau à l'état liquide, accumulée en collections plus ou moins abondantes sur la surface terrestre, ou imbibant simplement le sol émergé. L'étendue de ces collections, de même que la nature et la quantité des substances minérales qu'elles tiennent en dissolution, ont été modifiées par l'émersion des continents, conséquence de la condensation du noyau central de la planète. Il en est résulté des modifications très importantes dans le règne végétal et le règne animal. Mais c'est l'action physique du Soleil qui a toujours été la cause initiale de la production des êtres organisés, ainsi que la cause concomitante de leurs transformations, et c'est par sa suppression qu'ils disparaîtront d'une manière définitive, lorsque cet astre central sera passé à l'état planétaire ou que son volume sera réduit au point de rendre son intervention impuissante.

Nous avons démontré que l'intelligence des animaux et celle de l'homme en particulier étaient dues à certaines substances organiques non encore spécifiées, mais dont la présence est indispensable dans certains groupes d'appareils nerveux pour que les phénomènes intellectuels puissent se manifester. Comme cette substance n'a pas d'autre origine que celles auxquelles elle se trouve unie, elle est soumise, comme elles, aux circonstances de milieu. C'est ainsi que nous l'avons vue, dans les séries animales, se développer en qualité et en quantité et s'accumuler sur le groupe nerveux cérébral, pour y atteindre un maximum d'activité, comme chez les Insectes et les Mammifères.

L'intelligence disparaît complètement avec la composition chimique qui la produit, comme la contractilité cesse de se manifester aussitôt la destruction de la substance musculaire. Lorsque l'action de l'astre central sera impuissante à synthétiser la chlorophylle et les matières organisables, il ne restera d'autre trace de cette intelligence qui se prétend immortelle, que les débris de l'industrie de l'Homme et des Animaux.

De tous ces faits recueillis et précisés par l'observation et l'expérimentation, nous pouvons donc induire légitimement que tous les phénomènes qui se succèdent dans l'Univers, sont le résultat des propriétés des atomes et molécules qui constituent la matière pondérable, et que tous les phénomènes naturels, astronomiques, géologiques et biologiques, rentrent dans la Physico-chimie qui, à elle seule, résume toute la Science. Celle-ci est donc réellement une, comme nous l'avons écrit à M. Berthelot en juin 1886.

En terminant, glorifions la Révolution de 1789, dont on célèbre actuellement le centenaire. Sans elle, après la publication d'un tel livre, la Religion et la Philosophie

auraient requis contre son auteur toutes les rigueurs du bras séculier. Combien, avant cette date mémorable, ont été pendus, écartelés ou brûlés vifs pour beaucoup moins! Aujourd'hui, la Sorbonne et ses exécuteurs en sont réduits à refuser les grades universitaires aux mécréants et aux fils des mécréants, qui osent formuler de semblables hérésies contre la foi philosophique et religieuse.

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

LIVRE PREMIER.

LIVRE DEUXIÈME.

CHAPITRE Ier.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

PARIS. — TYPOGRAPHIE A. HENNUYER, RUE DARCET, 7.





